

# EXPLOTACION Y MANTENIMIENTO HIDRAULICO

BOLETIN NO. 156

Junio de 1991



**EN ESTE NUMERO:**

**Proteja esas compuertas ataguías y sellos de ranuras  
Alternativas no tradicionales a los revestimientos de canales  
Reduciendo las pérdidas en el transporte del agua de regadío  
Es probable que se rompa otra vez esta tubería  
El cuidado de las bombas asegura un riego sin problemas  
Conservación del agua: Ya está aquí el día de mañana  
Estados Unidos aborda el problema de los tanques con fugas  
Sostenimiento de los caminos en los bosques  
El equipo geosintético de la oficina de Denver del Bureau  
Enfoque en la presa de Rye Patch y su embalse**

**UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR  
BUREAU OF RECLAMATION**

El Boletín de Explotación y Mantenimiento Hidráulico es una publicación presentada a los operadores de sistemas de abastecimiento de agua. Su objetivo principal es de servir de órgano para el intercambio de información para provecho del personal del Bureau of Reclamation y de los grupos de usuarios de agua en lo referente a la explotación y mantenimiento de las instalaciones hidráulicas.

A pesar de que se hacen todos los esfuerzos posibles para asegurar la exactitud y veracidad de la información presentada, el Bureau of Reclamation no garantiza ni se hace responsable por el uso, o mal uso, de la información contenida en este Boletín.

\* \* \* \* \*

Ferne Studer, Redactora Administrativa  
Bill Bouley, Redactor Técnico  
Marie L. Murphy, Traductora  
Facilities Engineering Branch  
Engineering Division  
Denver Office, Code D-5210  
PO Box 25007, Denver, CO 80225 EE.UU.  
Teléfono: (303) 236-8087 (FTS 776-8087)



Foto en la portada:

La presa y el embalse de Rye Patch, Humboldt Project, Nevada. Vista aérea, aguas arriba hacia el río Humboldt, a 42 kilómetros al norte de Lovelock, Nevada.

Toda información contenida en este Boletín referente a productos comerciales no se puede usar con propósitos promocionales o publicitarios, y no se debe considerar como el respaldo del Bureau of Reclamation de ningún producto o compañía.

## CONTENIDO

### BOLETIN DE EXPLOTACION Y MANTENIMIENTO HIDRAULICO

No. 156

JUNIO DE 1991

	Página
Proteja esas compuertas ataguías y sellos de ranuras . . .	1
Alternativas no tradicionales a los revestimientos de canales . . . . .	4
Reduciendo las pérdidas en el transporte del agua de regadío . . . . .	16
Es probable que se rompa otras vez esta tubería . . . . .	22
El cuidado de las bombas asegura un riego sin problemas . . . . .	25
Conservación del agua: Ya está aquí el día de mañana . .	32
Estados Unidos aborda el problema de los tanques de combustible con fugas . . . . .	35
Sostenimiento de los caminos en los bosques. . . . .	44
El equipo geosintético de la oficina de Denver del Bureau . . . . .	53
Enfoque en la presa de Rye Patch y su embalse . . . . .	57

## PROTEJA ESAS COMPUERTAS ATAGUIAS Y SELLOS DE RANURAS<sup>1</sup>

por Bill Bouley<sup>1</sup>

Ya ha llegado el momento de utilizar sus compuertas ataguías o viguetas durmientes para aislar y desaguar su área de trabajo. Si las compuertas estaban almacenadas a la intemperie, sujetas a condiciones climáticas y a los rayos del sol, es muy probable que los sellos de caucho se han resecado y agrietado, afectando su impermeabilidad. O bien, un capataz de mantenimiento muy precavido removió esos sellos para prevenir su deterioro y los guardó en un almacén abrigado. Puesto que este tipo de equipo se utiliza muy raramente, es posible que se pierda bastante tiempo buscando los sellos escondidos en alguna parte del almacén, o que los sellos estén deteriorados por el paso del tiempo. De hallarlos en buenas condiciones, se llevan los sellos al campo y se adaptan correctamente a la compuerta ataguía o a la vigueta y se ajustan para formar un sello impermeable.

Este relato es típico de lo que se ha observado referente al almacenamiento de las compuertas ataguías o viguetas. En casos de urgencia, cuando se necesita una compuerta ataguía para cerrar una conducción forzada, un cuenco amortiguador, un canal, etc., el tiempo que se gasta buscando los sellos podría ser crítico.

El personal del Proyecto de Lahontan Basin ha desarrollado una solución parcial al problema del deterioro: recubrir con cintas para ductos los sellos de neopreno de las grandes compuertas ataguías en la central de la presa Stampede. Las cintas han protegido los sellos, pero la luz del sol ha deteriorado las cintas causando una separación entre las capas adhesivas y la superficie de la cinta. El personal recomienda el uso de un material más resistente a los rayos ultravioleta para proteger los sellos.

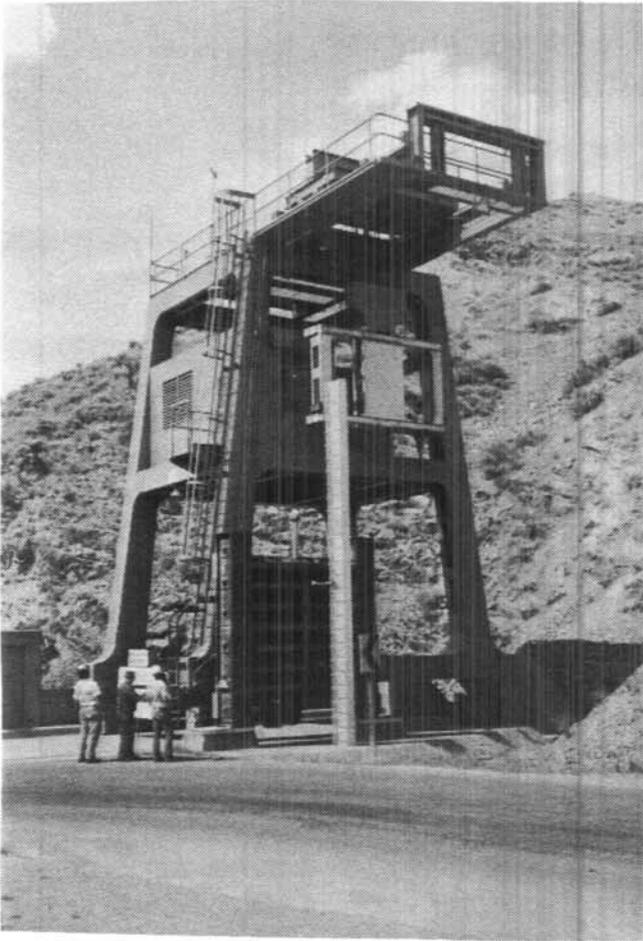
La Sección de Ciencias Materiales en la División de Investigaciones de la oficina de Denver del Bureau ofrece la siguiente sugerencia para prolongar la vida de los sellos de caucho. El medio más efectivo para conservar el caucho es el control de la temperatura. El caucho negro expuesto a la luz del sol puede fácilmente alcanzar una temperatura superficial de 70°C o más. A esta temperatura, muchos productos de caucho, incluso el neopreno, pueden endurecerse mucho en un período relativamente corto de tiempo. Una capa blanca puede reducir esa temperatura de 70°C a menos de 50°C. La experiencia del Bureau ha demostrado que el caucho negro puede endurecerse y partirse en cinco años. Bajo las mismas condiciones, pero con una capa blanca, el caucho se conserva muy bien por más de 20 años.

---

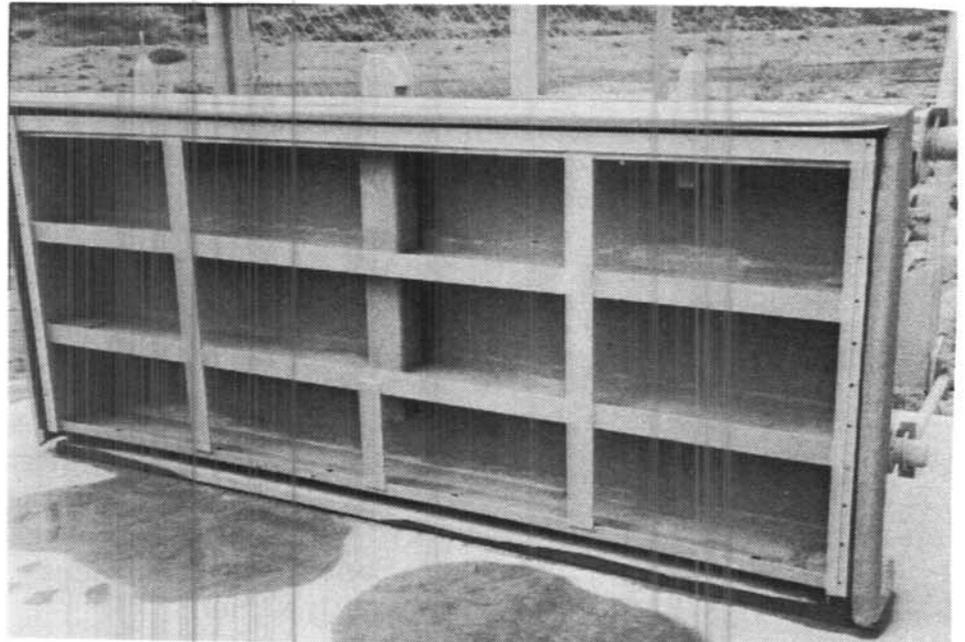
<sup>1</sup>Ingeniero civil con el Bureau of Reclamation, Facilities Engineering Branch, Denver, Colorado, EE.UU.

La capa debe ser un producto latex (a base de agua). Los disolventes en pinturas a base de aceite podrían dañar el caucho. Una pintura latex blanca mate para el exterior sirve bien como una capa protectora. Se pueden anticipar pequeños problemas tales como desteñimiento, desprendimiento y agrietamiento de la pintura, y no deja de ser ésta una capa provisional porque la selección y aplicación de una capa de tipo "permanente" sería difícil y costosa. La pintura necesitará retoques de vez en cuando para su conservación y es posible que sea necesario volver a aplicar pintura después de una inmersión en agua, por lo que se debe escoger un producto que no cueste mucho.

Otra medida para proteger los sellos consiste en no almacenar las compuertas ataguías o viguetas en el suelo, sino colocarlas encima de bloques para prevenir la compresión de los sellos cuando no están en servicio. Se pueden utilizar tablas de madera u otros materiales baratos, para soportar las secciones principales de la compuerta ataguía o vigueta, proporcionando espacio libre para los sellos.



Compuerta ataguía almacenada debajo de una grúa fija de caballete en Canyon Ferry.



Cinta de ducto sobre sellos de neoprena en una gran compuerta ataguía en la central de Stampede.

# ALTERNATIVAS NO TRADICIONALES A LOS REVESTIMIENTOS DE CANALES

por Thomas E. Mitchell<sup>1</sup>

## Introducción

El revestir los canales de riego ayuda a conservar agua y sirve para conducir el agua más fácilmente. En primer lugar, el revestimiento reduce las filtraciones del canal lo cual previene pérdidas de agua en el sistema de distribución. Las pérdidas de agua deben evitarse no solamente desde el punto de vista económico, sino que las fugas de agua pueden penetrar en terrenos adyacentes y tener efectos perjudiciales. En segundo lugar, se puede lograr una sección transversal hidráulicamente más eficiente. Con el revestimiento, la fricción del agua fluyente queda reducida, o permite la utilización de un prisma geométrico más eficiente para el canal. Una sección transversal hidráulica eficiente permite un caudal más elevado en un canal más pequeño. Para los canales nuevos, esto reducirá el área del derecho de paso y los costos asociados con su adquisición. Para los sistemas de canales no revestidos existentes, una sección transversal hidráulica más eficiente proporcionada por el revestimiento significaría una mayor capacidad potencial para la misma área de canal. Sin embargo, aunque no se incrementara la capacidad, se lograría una mayor flexibilidad y eficiencia de operación. El revestimiento también puede reducir la erosión, con menos costos del mantenimiento de los canales o sistemas de canales.

Tradicionalmente, los tipos más comunes de revestimiento para lograr estos beneficios han sido revestimientos de tierra, de hormigón o de PVC (cloruro de polivinilo) usados en secciones de forma trapecial. Se han realizado muchos estudios y aplicaciones de estos tipos de revestimientos en los sistemas de distribución de agua del Bureau of Reclamation y los títulos de varias de sus publicaciones sobre estos revestimientos tradicionales figuran al final del presente artículo.

El propósito de este artículo es el de presentar alternativas no tradicionales a las aplicaciones de revestimientos. La razón la más común por no utilizar estos revestimientos alternativos es su costo más elevado. Sin embargo, presentan aplicaciones de ingeniería especializada que pueden ser útiles. Estos revestimientos alternativos, sus aplicaciones especializadas y sus beneficios potenciales son tratados a continuación.

---

<sup>1</sup>Encargado de Diseños, Water Conveyance Branch, Bureau of Reclamation, PO Box 25007, Denver, Colorado 80225 EE.UU.

## Canales semicirculares (hormigón de asiento cero)

Ingenieros en España han desarrollado un método de construcción de canales semicirculares usando hormigón de asiento cero y han utilizado este método de construcción exitosamente desde 1961. El hormigón de asiento cero se define como un hormigón que tiene un asentamiento de menos de 1,27 cm, lo cual se puede obtener con un contenido elevado de cemento. Los canales semicirculares tienen una geometría de sección transversal hidráulica más eficiente. A primera vista, se nota efectivamente que este método podría reducir el costo de construcción; sin embargo, se deben considerar otros factores. El informe del Bureau titulado "Evaluation of Semicircular Canals," 1984, (Evaluación de canales semicirculares) es un resumen de estas consideraciones.

Antes de seleccionar un canal semicircular, un estudio de factibilidad debe efectuarse para compararlo con una sección trapecial. Uno de los principales factores en la selección de un diseño semicircular es el ángulo central  $\theta$  (véase figura 1). Las secciones semicirculares por lo general tienen pendientes más empinadas que las secciones trapeciales. Esto requiere que el suelo tenga, ya sea un ángulo adecuado de fricción interna, o que haya sido estabilizado por sobreexcavación o rellenado con un material selecto o un tratamiento químico del suelo (véase el capítulo sobre Estabilización de Suelos). El ángulo central  $\theta$  también puede reducirse, pero esto reduce la eficiencia hidráulica de la sección. Si se reduce mucho el ángulo  $\theta$  la sección puede resultar hasta menos eficiente que una sección trapecial. Por lo tanto, las secciones semicirculares requieren cuando menos suelos moderadamente adhesivos puesto que no se adaptan a los suelos no cohesivos.

Otras ventajas de las secciones semicirculares que merecen consideración son una superficie reducida del derecho de paso, una posible reducción de las excavaciones y cantidades de hormigón, así como una posible disminución de áreas de filtraciones en el prisma del canal. La solera curva en contrabóveda es antagonista de la supresión y puede ser más eficaz en zonas con una capa freática elevada; sin embargo, se debe reconocer una reducida resistencia a las cargas laterales. Estas ventajas deben compararse con las desventajas de un posible aumento de dificultades en la requerida construcción y modificaciones de las estructuras. En cuanto al mantenimiento y a la seguridad, las secciones semicirculares serían probablemente más difíciles de reparar y sus pendientes más empinadas serían más peligrosas para los animales atrapados en el canal. En general, los canales semicirculares también parecen ser más apropiados en el caso de canales con capacidades de caudales de menos de 28,3 m<sup>3</sup>/seg.

Los canales semicirculares tienen ventajas potenciales de ahorro de costos y deben de estudiarse en más detalle si las condiciones iniciales parecen favorecer este método de construcción.

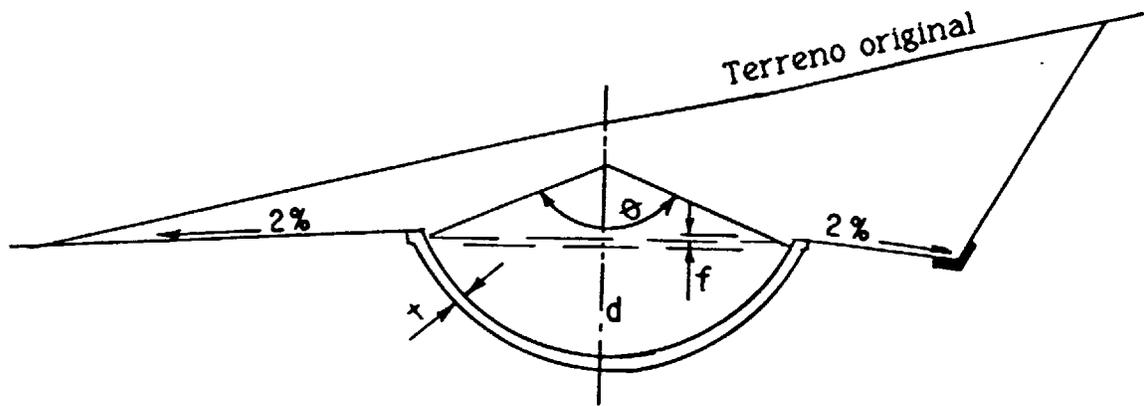
### Gunita sobre geosintéticos

El Bureau of Reclamation ha diseñado un revestimiento para cubrir un tramo de 1,6 kilómetro de canal con gunita sobre geosintéticos en el canal Towoac del Proyecto de Dolores en el estado de Colorado. Este método de construcción fue escogido por varias razones. Primero, 1,6 km era una sección muy corta de canal para utilizar económicamente una máquina de revestir fabricada a la orden. Segundo, se trataba de la restauración de un canal en casi constante servicio durante todo el año y este método fue seleccionado para poder completar el trabajo en el corto tiempo en que no se solía utilizar el canal. Finalmente, el sitio se encuentra en la pendiente de una colina muy empinada de material lodoso, lo cual requiere una fuerte impermeabilización para prevenir fallas. Un dren subterráneo fue provisto para recoger las filtraciones antes de su penetración en el terraplén.

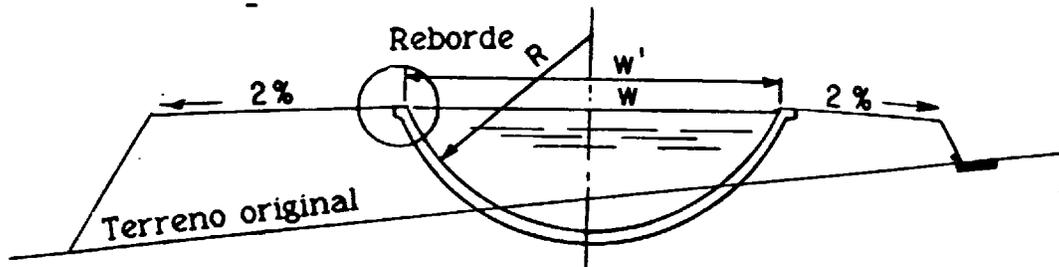
La figura 2 ilustra detalles de este tipo de revestimiento. Ciertas consideraciones de construcción son requeridas para el PVC. Después de preparar la superficie del canal por medio de excavación, recortado y arrastrado, se instaló un PVC de 20 mil (1 mil = una milésima de pulgada) sobre el interior del canal. Un compuesto prefabricado de drenaje se instaló directamente sobre el revestimiento de PVC. Este compuesto está fabricado con configuraciones nodales simétricas de un lado para que la parte plana trasera pueda instalarse directamente sobre el revestimiento de PVC, y un geotextil no tejido punzonado a la aguja se pega a la configuración nodal. La gunita se aplica luego al geotextil punzonado. Esto es necesario para prevenir el asentamiento de la gunita en la superficie de 1-1/2:1. Varias juntas longitudinales abiertas y juntas transversales abiertas están espaciadas en cada 9 metros para permitir el drenaje del agua entre la gunita y el revestimiento de PVC. La gunita consiste de un hormigón neumáticamente aplicado directamente encima del geotextil punzonado. Tiene una resistencia de 211 kg/cm<sup>2</sup> y se utilizó un proceso de mezclado fluido para un mejor control de la composición de la mezcla. Sólo el acelerador se agrega a la mezcla en la boquilla. El asentamiento aceptado para la gunita es de 8 cm.

### Estabilización de suelos

Los suelos se estabilizan para obtener cualquier combinación de beneficios de reducida permeabilidad, incrementada resistencia tractiva y mayor estabilidad conduciendo a pendientes laterales más empinadas en los prismas de canales. Los métodos más comunes de

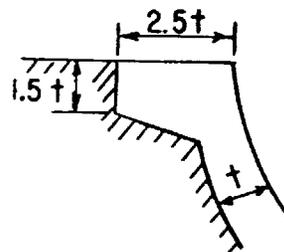


I. - Sección típica en el corte



II. - Relleno típico de sección

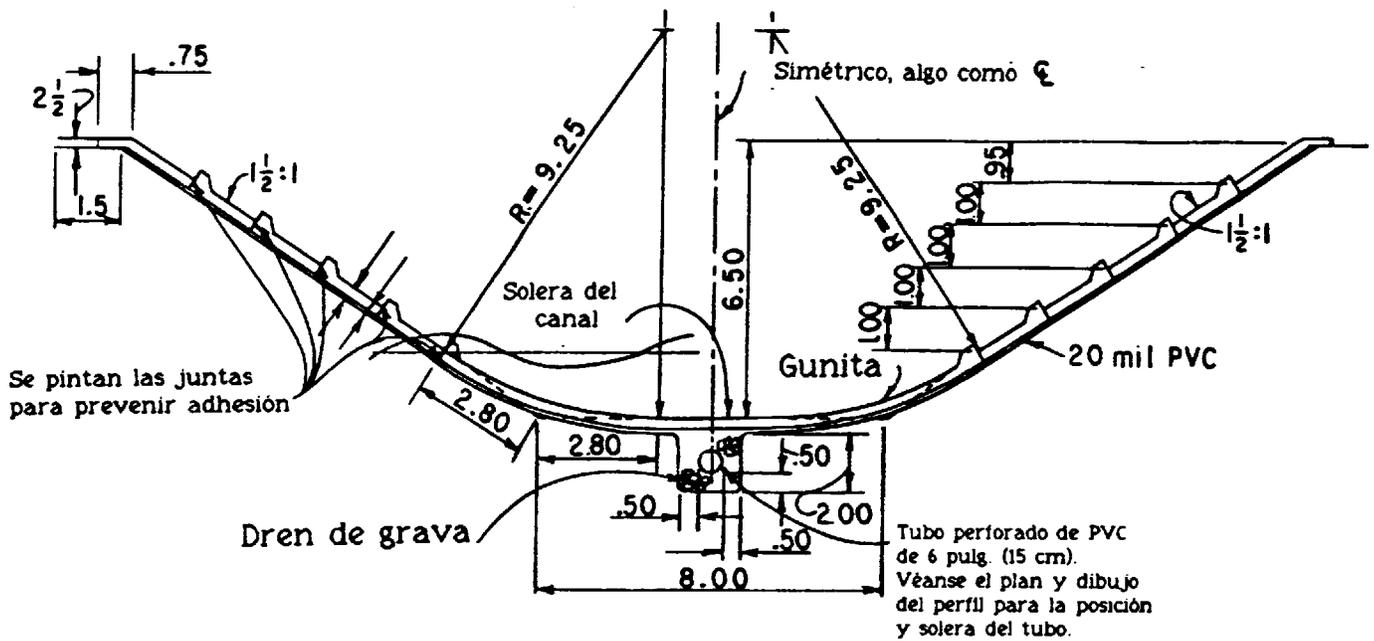
- R = Radio de la sección circular
- $\phi$  = Angulo central mojado
- T = Espesor del revestimiento
- f = Resguardo
- w = Ancho del agua
- w' = Ancho total
- h = Altura del reborde. (0 a 0,50 m)
- d = Profundidad



DETALLE DEL REBORDE

PRISMA DE CANAL SEMI-CIRCULAR

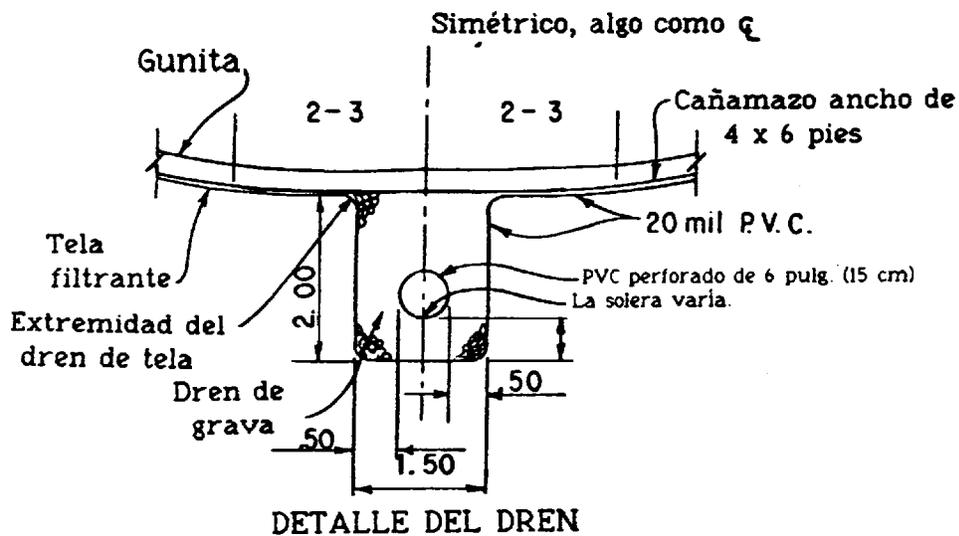
Figura 1



DETALLE DEL REVESTIMIENTO  
(Dimensiones en pies)

PROPIEDADES HIDRAULICAS

Q	A	V	r	n	s	b	d	HB	HL
345	86.43	3.99	3.16	.017	.00045	8.00	5.44	8.20	6.50



DETALLE DEL DREN

CANAL DE TOWAOC - SECCION DEL CANAL CON GUNITA

Figura 2

estabilización de suelos son la estabilización mecánica y la estabilización química. La estabilización mecánica incluye la sobreexcavación y el relleno con materiales adecuados o la adición de suelos de fina granulometría como el bentonita a los suelos filtrantes.

Productos químicos comunes que han sido utilizados con éxito por muchos años para estabilizar los suelos incluyen resinas, productos petroquímicos, silicate de sodio, cal y cemento portland. En una reciente prueba, se ensayaron las cenizas volantes para la estabilización de suelos y tienen potencial como un método económico.

Las cenizas volantes son un material de partículas finas de polvo recogidas de los gases de tubos de caldera de la centrales que queman carbón. Puesto que se trata más bien de residuos, el empleo de las cenizas volantes para la estabilización puede considerarse como un buen método de eliminación de desperdicios. Aunque la composición química de las cenizas volantes varía, el componente de óxido de calcio (CaO) es el que más afecta la estabilización de los suelos. La eficacia de las cenizas volantes puede también aumentarse con una combinación de pequeñas cantidades de cemento portland, cal hidratada o sulfato de calcio. Se requieren diferentes mezclas de cenizas volantes para diferentes suelos. Una descripción de las pruebas aparece en el informe del Bureau "Tests for Soil-Fly Ash Mixture for Soil Stabilization and Canal Lining", 1986 (Pruebas de mezclas de cenizas volantes para estabilización de suelos y revestimiento de canales).

La estabilización de suelos podría ser suficiente de por sí como un revestimiento de canales o puede usarse en conjunto con otros métodos de revestir para realzar su eficacia.

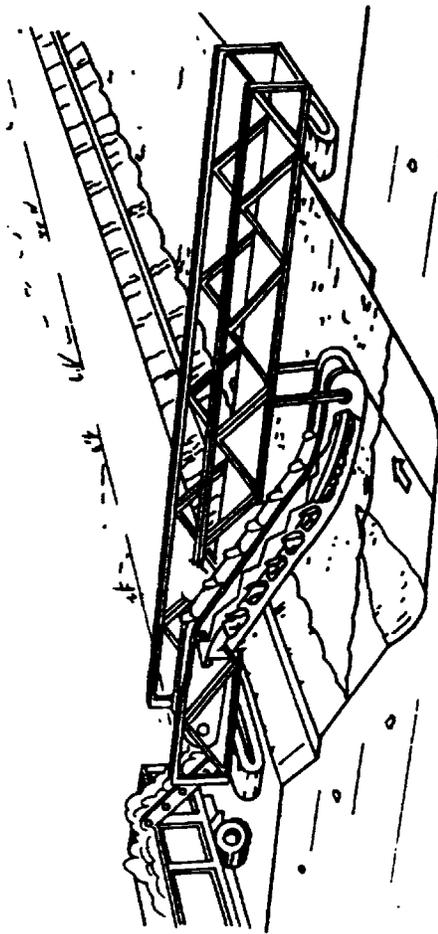
#### Hormigón sobre geosintéticos

La combinación de hormigón con geosintéticos se utiliza para resolver problemas particulares en la construcción de canales. En la India, una membrana de polietileno de baja densidad recubierta con tejas de ladrillo ha sido satisfactoria para revestir canales. Como todas las coberturas duras, los ladrillos protegen la membrana geosintética contra las pisadas de animales grandes y contra el vandalismo. La colocación a mano de las tejas de ladrillo, empero, sería demasiado costosa salvo cuando la mano de obra es muy barata. La combinación hormigón/geosintéticos parece ser un factor importante en el exitoso revestimiento de canales no revestidos existentes que no pueden desaguarse. Un método ensayado en la India comprende un revestimiento acolchonado que consiste de dos capas de tela de tejido especial, entre las cuales se vierte hormigón de fina granulometría y el todo se asienta en el lecho del canal bajo agua conforme se va llenando con hormigón.

Otro método desarrollado por el Bureau es el método de encofrado deslizante ensayado en el canal de Coachella. El Bureau revistió un tramo de 2,41 km en este canal, usando una cubierta de membrana de PVC de 30 mil, con hormigón monolítico de 7,6 cm y encofrado deslizante. El caudal de diseño es de 45 m<sup>3</sup>/seg; sin embargo, el uso máximo suele ser de 28 m<sup>3</sup>/seg. Esta sección sirve de prototipo para evaluar los impactos ambientales, verificar las técnicas de construcción y refinar las estimaciones del costo. Una superficie dura fue escogida más bien que de tierra para facilitar la limpieza del canal, y los rebordes de escape para animales fueron formados por encofrado deslizante en el hormigón (véase figura 3). La mezcla de hormigón incluye aditivos antilavado y se agregan productos químicos al agua durante la colocación para contrarrestar todo pH adverso. La turbiedad y los efectos sobre peces y fauna están bajo estudio. El revestimiento fue colocado a principios de la primavera cuando rebajan las demandas de agua y las velocidades de caudal en el canal. El hormigón provee una superficie dura para proteger el PVC y se han espaciado juntas longitudinales abiertas a intervalos de 0,46 m para proporcionar puntos de alivio para la presión hidrostática entre el hormigón y el revestimiento de PVC.

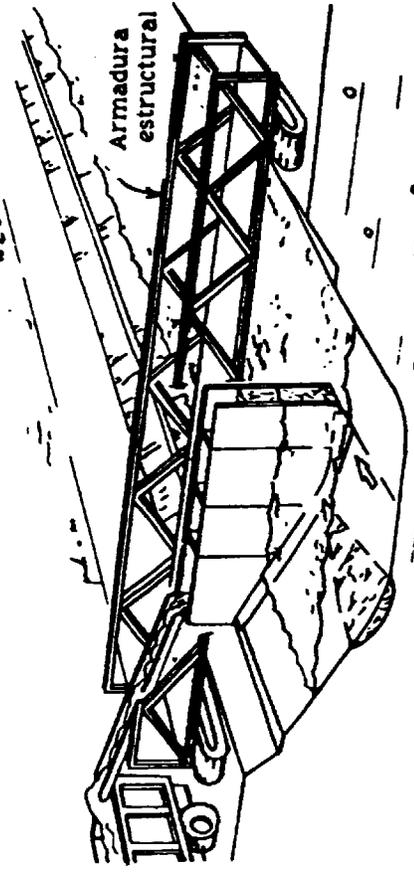
A continuación se presentan algunas de las ventajas de realizar revestimientos bajo agua en los canales en servicio.

- a. Un control considerable de filtraciones.
- b. Ninguna interrupción del servicio del canal, exceptuando el breve lapso para contornar una obra de toma.
- c. El nuevo prisma proveerá una caja de canal más amplia de lo que se obtendría con un canal resituado, resultando en un estanque de almacenamiento cuando menos del mismo tamaño que el existente.
- d. Se elimina la necesidad de adquirir derechos de paso nuevos o adicionales.
- e. El revestimiento de hormigón de superficie dura puede limpiarse fácilmente por draga o se pueden raspar las pendientes laterales para remover hidrilla, musgo y depósitos de limo.
- f. El revestimiento aguanta fluctuaciones relativamente rápidas del nivel del agua, brindando así una flexibilidad de operación deseable.
- g. Debe proveer una economía notable de costos en comparación con un canal relocalizado puesto que elimina la necesidad de grandes excavaciones y la construcción de bermas para el canal y se acorta el tiempo de construcción. El tráfico necesario durante la construcción en el área también quedará reducido.



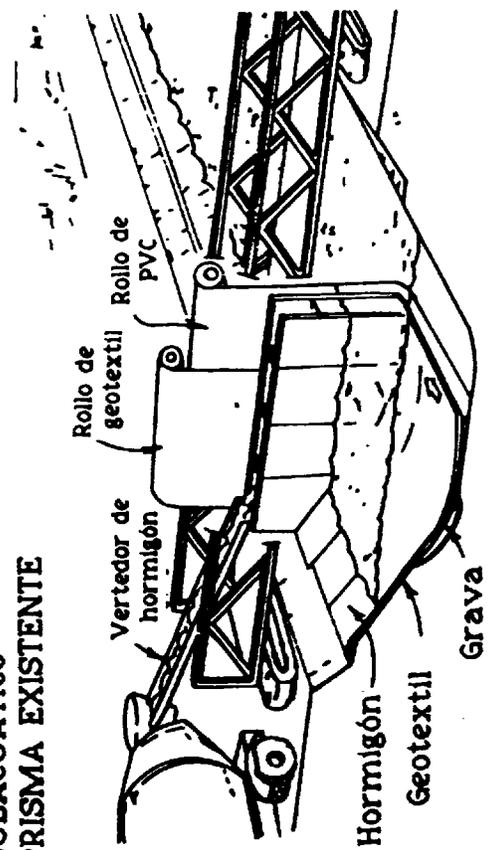
①

PROTOTIPO SUBACUATICO  
RECORTADO DEL PRISMA EXISTENTE



②

PROTOTIPO SUBACUATICO  
REFORMACION DEL PRISMA EXISTENTE



③

PROTOTIPO SUBACUATICO  
COLOCACION DE FML CON CUBIERTA DE HORMIGON

DIBUJO CONCEPTUAL DE REVESTIMIENTO SUBACUATICO

Figura 3

h. Al quedar completadas todas las investigaciones, así como los estudios ambientales, incorporándose los mismos en los diseños y en las especificaciones, no se anticipa ningún impacto adverso debido a la construcción. El canal debería ser más seguro para el venado y otros mamíferos grandes, y sobre todo, ahorrará agua.

### Reparaciones y restauración

Existen varios tipos de materiales de revestimiento utilizados casi exclusivamente para reparaciones y restauración. También existen materiales fabricados a la orden para aplicaciones especializadas.

Muchos canales revestidos de hormigón que llevan largos años de servicio se han deteriorado con el tiempo. Cuando ya no es eficaz el sellar grietas o reemplazar paneles individuales dañados, el hormigón puede recubrirse con diferentes materiales para restaurar el canal. El hormigón existente, aunque no tan impermeable como se desearía, puede proveer una superficie dura que sirve de base para soportar un material de revestimiento impermeable. Una de las primeras experiencias del Bureau con este tipo de revestimiento fue en 1964 cuando un tramo de 230 metros del canal de Contra Costa fue recubierto con un revestimiento de butilcaucho de 0,8mm. Debido al encogimiento y agrietamiento por ozono, éste duró solamente un par de años. Recientes investigaciones han demostrado que se pueden considerar varias opciones de aplicación, o sea el uso de un polietileno espeso (100mil) de alta densidad, o de Hypalon (polietileno clorosulfonado), o de asfalto rociado con plástico o de betún reforzado. Sin embargo, el material escogido debe resistir a los rayos ultravioleta del sol, la intemperie y muchos pasos de animales.

Un reciente ejemplo del proceso de restauración en un canal revestido de hormigón fue la rehabilitación del canal de Putah South en el Distrito de Riego de Solano en Vacaville, California. La Cia. Summers Engineering, Inc. de Hanford, California, preparó los diseños para el proyecto. En noviembre de 1989, una capa de 5 cm de gunita con malla de fibra de 1,19 kg/m<sup>2</sup> fue colocada encima de un polietileno de 40mil texturizado y de alta densidad, sujetándose el mismo al revestimiento de hormigón. Unos 1524 metros de canal fueron revestidos a un costo de US\$300,000, o sea US\$22/m<sup>2</sup> para el material (US\$7/m<sup>2</sup> para polietileno de 40mil texturizado y de alta densidad, \$0,65/m<sup>2</sup> para mallas de fibra, y \$14/m<sup>2</sup> para gunita), lo cual no incluye la preparación de la superficie para recibir el hormigón. Puesto que se trataba de una obra pequeña, el precio por metro cúbico fue mayor que para una obra grande.

Muchos de los mismos materiales utilizados para recubrir hormigón pueden usarse como revestimientos expuestos para restaurar canales de tierra no revestidos. En 1987, el Distrito de Riego de Kennewick, en el estado de Washington, instaló un revestimiento de betún armado

sobre tierra como una alternativa al PVC cubierto con tierra y grava. Las previas capas de PVC estaban invadidas por hierbas cuyas raíces habían penetrado en el material y que deberán removerse con una posible reducción del revestimiento o daño al PVC. El betún reforzado provee una impermeabilidad que impide el crecimiento vegetal y aunque este tipo de revestimiento cuesta más que la instalación de PVC, algunos de los costos se compensan por los reducidos trabajos de tierra durante la instalación y, se ha de esperar, menos gastos de mantenimiento en el futuro.

### Comparación de costos

Antes de seleccionar un revestimiento, se deben hacer comparaciones de costos para determinar el material más económico. Presentamos aquí estimaciones de costos para distintos tipos de material de revestimiento, con precios de 1989, para largos tramos de canales en EE.UU., las cuales pueden servir de pauta en la determinación de factores para estimar costos. Tal y como suele ocurrir con cualquier análisis de costos, éste puede cambiar en base de nuevos materiales, manufactura mejorada, diferentes técnicas de construcción y condiciones del mercado. Por cuanto el presente análisis no es más que un cuadro de costos comparativos de distintos revestimientos.

a. Revestimientos de hormigón y PVC.- Las secciones de canal revestidas con hormigón suelen tener pendientes laterales más empinadas y caudales más recios que las secciones revestidas con PVC, reduciendo el derecho de paso requerido y la totalidad del trabajo. Comparaciones del costo de revestimientos instalados, por metro cúbico de material, exclusivo del precio del derecho de paso y otros costos de excavación, se presentan a continuación.

(1) Revestimiento de hormigón - costo por metro cuadrado.-

Preparación de cimientos para revestimiento de hormigón (recorte)	US\$ 1.00
Suministro e instalación de hormigón no armado en el revestimiento del canal, 7,6 cm de espesor (0,0762 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x US\$65/m <sup>3</sup> )	4.98
Suministro y manejo de materiales cementosos (0,281 ton/m <sup>2</sup> x US\$110/ton)	3.09
Suministro de juntas en revestimientos de hormigón no armado (0,2696 m lineal/m <sup>2</sup> x US\$2.30/m lineal)	0.62
Costo total/m <sup>2</sup>	US\$ 9.69

(2) Revestimiento de PVC - costo por metro cuadrado.-

Preparación de la superficie para revestimiento de PVC	US\$ 1.20
Suministro y colocación de revestimiento de PVC de 20mil	1.79

Suministro y colocación de cubierta de grava sobre revestimiento de PVC (espesor: 30,48 cm = 0,3048 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x US\$6.54/m <sup>3</sup> )	<u>2.00</u>
Costo total/m <sup>2</sup>	US\$ 4.99

Estos costos se basan en áreas brutas de revestimiento. Aunque la reducida superficie de hormigón habrá de determinarse para las condiciones específicas de caudales, muchas veces el hormigón cubre un 60 por ciento del área con secciones de PVC. Por lo tanto, el precio neto del hormigón es de US\$9.88 x 60% = US\$5.92/m<sup>2</sup>, lo cual es comparable al costo del revestimiento de PVC.

b. Hormigón con geosintéticos.- Las aplicaciones de hormigón con geosintéticos aumentan el costo en forma notable, tal como se puede observar en las siguientes estimaciones.

(1) Gunita sobre geosintéticos - costo por metro cúbico.-

Preparación de la superficie para el revestimiento	US\$ 0.60
Suministro y colocación de un compuesto de drenaje prefabricado	13.16
Suministro y colocación de revestimiento de PVC 20mil	2.99
Suministro y colocación de gunita de 7,6 cm de espesor ( 0,0762 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x US\$327/m <sup>3</sup> )	24.90
Suministro y manejo de material cementoso (0.0281 ton/m <sup>2</sup> x US\$110/ton)	3.09
Costo total/m <sup>2</sup>	<u>US\$ 44.14</u>

(2) Hormigón sobre geosintéticos - colocación subacuática por metro cuadrado -- estimaciones de preconstrucción.-

Preparación de la base para revestimiento subacuático	US\$ 14.35
Suministro y colocación de revestimiento de PVC 30mil, incluso el geotextil	3.59
Suministro y colocación bajo agua de hormigón de 8cm de espesor (0,0762 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x US\$130.79/m <sup>3</sup> )	9.96
Suministro y manejo de materiales cementosos (0,0281 ton/m <sup>2</sup> x US\$110/ton)	3.09
Costo total/m <sup>2</sup>	<u>US\$ 30.99</u>

c. Aplicaciones especializadas.-

(1) Hormigón asfáltico de 8 cm de espesor (0,0762 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x US\$69.39/m <sup>3</sup> )	US\$ 4.98
--	-----------

Se puede asperjar una capa de plástico sobre este material para

realzar su durabilidad. De colocarse sobre hormigón, se necesitaría un compuesto de drenaje entre el hormigón y el asfalto. Estos pueden incrementar considerablemente el costo por metro cúbico.

- (2) Suministro y aplicación de cenizas volantes para estabilizar el suelo (0,0803 ton/m<sup>2</sup> x US\$50/ton US\$ 4.04

Esto supone cenizas volantes mezcladas al 25 por ciento, por peso, para un espesor de suelo de 15 cm y la unidad de peso del suelo es de 1,922 kg/m<sup>3</sup>.

- (3) Sumistro e instalación de los siguientes revestimientos expuestos.

Polietileno de 100mil de alta densidad/m <sup>2</sup>	US\$ 17.94
Hypalon reforzado de 1 mm de espesor, 10 x 10/m <sup>2</sup>	11.96
Revestimiento de canal de betún reforzado/m <sup>2</sup>	11.96

### Conclusión

Existen muchos tipos de materiales y métodos para revestir canales y se necesitan cuidadosas comparaciones para seleccionar el que sea más efectivo al nivel económico y de ingeniería.

### Referencias

Bureau of Reclamation, Linings for Irrigation Canals (Revestimientos para canales de regadío, 1963 (agotado)

Bureau of Reclamation, Design Standard No. 3-Canals and Related Structures, 1967(Normas de diseño No. 3- Canales y obras anexas.

Bureau of Reclamation, Performance of Plastic Canal Linings, Report No. REC-ERC-81-7, 1981 (Eficacia de revest. de plástico para canales)

Bureau of Reclamation, Performance of Granular Soil Covers on Canals (Eficacia de cubiertas granulares sobre canales), Report No. REC-ERC-81-7, 1981

Bureau of Reclamation Practices for Design and Construction of Concrete Lined Canals (Prácticas del Bureau para diseños y constr. de canales revestidos de hormigón),ASCE conference paper, 1975.

Bureau of Reclamation, Interim Report on Canal Linings Used by the Bureau of Reclamation, 1988 (Informe interino sobre revestimientos de canales usados por el Bureau of Reclamation.

Mitchell,Thomas E., Alternative Canal Lining Applications, (Aplicaciones alternativas de revestimientos de canal), paper presented at Conserv 90, Phoenix Civic Plaza, Phoenix, Arizona, August 12-16, 1990.

# REDUCIENDO LAS PERDIDAS EN EL TRANSPORTE DEL AGUA DE REGADIO

por William Morrison y Theresa Casias<sup>1</sup>

## Introducción

Se utilizan materiales tanto orgánicos (revestimientos de plástico) como inorgánicos (aditivos al suelo tales como cemento, cal y cenizas volantes) para reducir las filtraciones en los sistemas de transporte de agua. Por ser que el uso de estos materiales conlleva diferentes tecnologías, se discutirán éstas separadamente a continuación.

## Revestimientos de plástico

Desde el fin de la Segunda Guerra Mundial, el rápido desarrollo de los polímeros sintéticos ha permitido la disponibilidad de una gran variedad de nuevos materiales de construcción. En cooperación con la industria, el Bureau of Reclamation ha realizado extensas investigaciones de laboratorio y de campo sobre muchos de estos materiales sintéticos, diseñados específicamente para uso como revestimientos de membrana impermeable. Estos estudios han conducido al desarrollo de revestimientos de plástico para el control de filtraciones en los canales de regadío, embalses y estanques.

Estos materiales son membranas delgadas, resistentes e impermeables, de plástico o elastoméricas, cuyo espesor varía de 10 a 100 mil (1 millipulgada = 0.025mm). Los revestimientos de plástico también se designan como geomembranas o revestimientos de membrana flexible.

Los revestimientos de plástico los más comunes incluyen:

- a. PVC (cloro de polivinilo).
- b. HDPE (polivinilo de alta densidad)
- c. VLDPE (polivinilo de muy baja densidad).
- d. EIA (aleación interpolimer etilena)
- e. CPE (polietileno clorinado)
- f. CSPE (polietileno clorosulfonado). Este material se denomina también Hypalon, que es el nombre de fábrica utilizado por la compañía DuPont para el compuesto.

---

<sup>1</sup>Ingeniero en materiales e Ingeniero Civil, respectivamente, empleados en la oficina de Denver del Bureau of Reclamation.

g. LDPE (polietileno de baja densidad). Este plástico es similar al tipo utilizado en la fabricación de bolsas para la basura, tales como "Hefty", "Glad", etc. Para fines de comparación, las bolsas para la basura varían en espesor de 1-1/2 a 2mil.

Exceptuando al HDPE, VLDPE y LDPE, los revestimientos de plástico son fabricados en rollos (de 1,5 a 2,13 m de ancho). Estos rollos se expiden a un taller para ser cosidos en grandes mantas o paneles con hasta 30 metros de ancho y varias centenas de metros de largo, dependiendo en la aplicación. Para facilitar el manejo, las mantas grandes se forman en acordeón como el papel para computadoras y se disponen sobre jergones para la expedición. Los otros materiales (HDPE, VLDPE y LDPE) se manufacturan en rollos de 6 a 9 metros de ancho y se expiden directamente al sitio de la obra.

En el pasado, el uso de revestimientos de plástico (principalmente el PVC) se hacía en conjunto con la restauración de antiguos canales no revestidos, especialmente en zonas que no se prestaban para la compactación del suelo o revestimientos de hormigón.

La primera instalación bajo las especificaciones de construcción del Bureau se hizo en 1968 en el canal de Helena Valley, Helena Valley Unit, en el estado de Montana. Desde entonces, el PVC ha sido utilizado en obras de restauración en el East Bench Unit, Montana; Riverton Unit, Wyoming; Farwell Unit, Nebraska; Yakima Project, Washington; y el Grand Valley Project, Colorado.

Los revestimientos de plástico son especificados ahora para las nuevas construcciones. Por ejemplo, se utilizó recientemente un PVC de 20mil en el proyecto San Luis Project, Colorado, para revestir un canal de transporte de agua superficial recogida como una fuente suplementaria al Río Grande. La instalación en el San Luis Project es una de las más grandes hasta la fecha en usar un revestimiento de plástico para la construcción de un canal en los EE.UU. Más de 1.170.540 metros cuadrados de PVC fueron instalados. El PVC también ha sido utilizado extensamente desde principios de 1980 como un material de revestimiento de canales en la parte sur de la provincia de Alberta, Canadá.

La construcción de revestimientos de plástico incluye los siguientes procedimientos.

a. Excavación.- Las pendientes laterales deben de construirse lo suficientemente planas para asegurar que la cubierta protectora de tierra sobre el revestimiento de plástico permanezca en la pendiente bajo condiciones de operación. El declive de los taludes laterales no debe sobrepasar de 2,5:1 (H:V).

b. Preparación de la superficie.- Una vez completada la excavación, la superficie se prepara para que la misma quede firme y relativamente plana. Piedras agudas, raíces y otros objetos que podrían perforar la membrana se eliminan o se entierran al cubrirlos con un geotextil, o bien con 8 a 10 cm de arena.

c. Instalación del revestimiento de plástico.- El revestimiento se entrega al sitio de la obra en mantas lo suficientemente anchas para cubrir el prisma del canal y con varias centenas de pies de largo. Como se mencionó antes, si el revestimiento está empacado en forma de acordeón en ambos sentidos, se dobla simplemente y se jala para colocarlo en su lugar. Es importante que el revestimiento de plástico se coloque en un estado flojo para evitar que el peso del suelo produzca fuertes tensiones. En el proyecto de San Luis, varios contratistas desarrollaron equipos para la colocación mecánica del revestimiento y de la cubierta de tierra. Esto se hizo también para una parte de la obra en Alberta.

d. Cubierta protectora de tierra.- La cubierta de tierra se coloca inmediatamente después de instalarse el revestimiento de plástico para eliminar posibles daños por el viento u otros factores. La cubierta de tierra es una parte esencial del sistema de membranas enterradas porque su función es la de proteger la membrana contra los elementos, pisadas de animales, vandalismo y daños mecánicos durante las operaciones de limpieza del canal.

Los revestimientos de plástico también son evaluados para aplicaciones especiales tales como:

- a. Reparación de revestimientos de hormigón deteriorados.
- b. Revestimiento subacuático de canales en servicio.
- c. Revestimientos de fondo únicamente, donde las filtraciones siguen un curso vertical.

Conforme va cobrando años de servicio y deterioro la infraestructura de la nación, el uso de revestimientos de plástico parece ser un método viable de reparación, especialmente bajo condiciones adversas tales como acceso limitado, tiempo inclemente o cortas interrupciones de servicio.

#### La estabilización usando aditivos

El Bureau of Reclamation ha construido un gran número de obras hidráulicas de amplia variedad para el almacenamiento y transporte de agua por toda la parte occidental de los Estados Unidos. Ha utilizado distintas técnicas de construcción y materiales, pero la

tierra es el material de uso más frecuente. Para poder utilizar ciertos suelos, se requieren aditivos para mejorar las propiedades de los mismos. Cal y cemento, ambos han sido usados exitosamente por el Bureau para realzar las propiedades del suelo. Se vienen realizando estudios sobre el uso de productos aditivos, tales como las cenizas volantes.

### Estabilización con cal

Se han notado dos tipos de suelos de arcilla que pueden causar dificultades para la construcción y operación de algunas obras de transporte de agua. El primero es una arcilla expansiva y el segundo es una arcilla dispersiva. El tratamiento con cal de ambos tipos de arcilla se ha comprobado ser un método eficaz de estabilización.

Los suelos expansivos exhiben un cambio considerable de volumen, así como expansión y encogimiento, con cambios en el contenido de humedad. Para un revestimiento de canal, el cambio de volumen puede presentar serios problemas por causar reducidas densidades del suelo, expansión y grietas por encogimiento, y pérdidas de resistencia del suelo.

Las arcillas dispersivas son arcillas que se erodan en corrientes lentas o hasta en agua tranquila debido a partículas individuales de arcilla coloidal que entran en suspensión. Debe haber una vía concentrada de filtraciones (grieta) para iniciar la erosión en arcillas dispersivas. Cuando la erosión de los muros laterales de un canal con fugas ocurre por todo su longitud al mismo tiempo, una rápida falla catastrófica puede resultar.

La agregación de cal al suelo expansivo tiene dos importantes efectos: (1) lo hace más manejable y (2) aumenta su resistencia. El porcentaje de cal agregado al suelo depende de si la cal se agrega para modificarlo (un pequeño porcentaje para aumentar la facilidad de manejo) o para estabilizarlo (suficiente cal para proveer resistencia).

El canal Friant-Kern en California fue construido de 1945 a 1951 y es un ejemplo del uso de la cal para estabilizar una arcilla expansiva. De sus 245 kilómetros de largo, unos 80 kilómetros atraviesan una zona de arcilla expansiva. De estos 80 kilómetros de canal, 53 están revestidos con tierra y los demás 27 están revestidos de hormigón. Fallas han ocurrido tanto en las secciones revestidas de hormigón, como en las de tierra. En 1954, este tramo del canal empezó a agrietarse, con deslizamientos y soliflucción.

A principios de los años de 1970, el Bureau empezó la restauración de las dos secciones en peor estado del canal, una revestida de tierra y la otra de hormigón. Se utilizó cal para estabilizar las pendientes

del canal en cada sección. El contrato estipulaba 2713 metros de revestimiento de suelo-cal compactado y 555 metros de revestimiento de hormigón sobre relleno compactado y estabilizado con cal. El revestimiento compactado de suelo-cal tenía un espesor de 60 cm en el lecho del canal y los taludes laterales eran de 1 metro de espesor normal a la pendiente.

El reacondicionamiento con suelo-cal consistía en la remoción del empedrado previamente colocado en las pendientes laterales del canal. Todo el material que debía de estabilizarse con cal fue sacado y llevado al fondo del canal donde se esparció y se mezcló la cal, quitándose las piedras que quedaban. Se agregó agua y se dejó reposar la mezcla de suelo-cal por 24 horas. La mezcla suelo-cal fue entonces esparcida y compactada en alzados horizontales en ambos lados del canal y en el fondo del canal para proveer el espesor compactado especificado.

Los resultados de las pruebas en laboratorio y observaciones del canal indicaban que este método de rehabilitación había sido exitoso. Se consideraban las mejoras en cuanto a la incrementada resistencia del suelo, unas 20 veces más de la resistencia de suelos no tratados. Por haber tenido tan buenos resultados, el Bureau completó otros cuatro contratos entre 1975 y 1984, usando esencialmente el mismo diseño, construcción y técnicas de evaluación. Cada uno de los proyectos de reacondicionamiento ha servido bien y no se han notado más deslizamientos o solifluciones en las paredes del canal. En todo sentido, el uso de suelo-cal para la rehabilitación de canales parece ser un método viable y económico de estabilización.

#### Estabilización de suelo-cemento

El Bureau también ha utilizado con éxito el suelo-cemento para revestir conducciones de transporte de agua y obras de almacenamiento de agua. Casi cualquier tipo de suelo de baja o ninguna plasticidad puede utilizarse como revestimiento o protección de taludes con suelo-cemento. Por lo general, el Bureau usa arenas limosa; sin embargo, materiales con un contenido más elevado de grava (hasta 55 por ciento) han sido utilizados con éxito en la actualidad. Un contenido más elevado de grava tiende a mejorar la resistencia a la erosión, al mismo tiempo que los suelos con contenidos más elevados de agregados finos tienden a reducir las tasas de filtración. Para la mayoría de las aplicaciones hidráulicas, se mezclan en una planta central el suelo, agua y cemento, y se lleva esta amasada al sitio de trabajo, colocándose y compactándose a una alta densidad.

Se incorporó en el paramento de suelo-cemento del embalse regulador de Lubbock, situado en Texas, una amplia sección de prueba para

determinar si el paramento de suelo-cemento podía también servir de barrera al agua. Los resultados del ensayo y de la observación de la sección de prueba indicó que la mayor parte de las fugas de dicha sección pasaron por grietas producidas por encogimiento y a lo largo de las planas de contacto entre las capas. La velocidad de filtración obtenida durante las observaciones iniciales figuran entre las más elevadas obtenidas, indicando que el suelo-cement tendía a sellarse durante el uso. Aunque sí ocurrieron algunas fugas, la cara del embalse fue considerada como semipermeable a casi impermeable. El suelo-cemento de por sí es impermeable.

El suelo-cemento ha sido utilizado exitosamente por el Bureau por más de 25 años. Su resistencia a la erosión, baja permeabilidad y economía hacen del suelo-cemento una válida alternativa a otros materiales de revestimiento. A medida que se vuelve más difícil obtener materiales de construcción de alta calidad, el Bureau sigue encontrando más usos para los materiales estabilizados por cemento.

### Conclusiones

El Bureau sigue estudiando y desarrollando varias técnicas y materiales de construcción para mejorar la eficacia a largo plazo de las obras de transporte hidráulico y minimizar las pérdidas de agua.

## ES PROBABLE QUE SE ROMPA OTRA VEZ ESTA TUBERIA<sup>1</sup>

Aunque fuera posible realizar rápidamente la reparación de una importante conducción que estalló en Tampa Bay, Florida, hace dos semanas, es muy probable que esta cañería se volverá a romper cuando empiece a fluir el agua, según dice Scott Emery, director del manejo de recursos hidráulicos de la agencia West Coast Regional Water Supply Authority en Clearwater.

La tubería de 213 cm que suministra casi la mitad del agua consumida por un millón de habitantes en el área de Tampa-St. Petersburg, estalló el 3 de octubre 1990, haciendo temblar la tierra en una zona rural al norte de Tampa (ENR 11/10/90 p.5). No hubo lesionados y todavía no se ha realizado ninguna estimación del costo de reemplazo.

"Esta tubería está en muy mal estado--malísimo estado," dice Emery hablando de la conducción forzada espiral de hormigón pretensado que mide 27 kilómetros de largo. La sección que se rompió "era una de las secciones cuyo interior no tenía tan mala apariencia," dice él. Hay secciones que se ven mucho peor."

La conducción, instalada entre 1973 y 1975, se había roto ya una vez hace tres años (ENR 2/7/87 p. 15). La Agencia había entablado un pleito en contra de uno de los fabricantes de la tubería, la Interpace Corp., así como en contra de la empresa consultora de ingeniería, CH2M Hill Inc., ante la corte de circuito del estado. Un caso parecido, entablado por el condado de Pinellas, Florida en contra de los mismos acusados, resultó en una adjudicación de 25 millones de dólares el año pasado (ENR 21/6/89 p. 24). Otros pleitos en contra del fabricante de tuberías están en progreso en varias partes de EE.UU.

La Interpace pertenece ahora al grupo Madison Management Group, Inc., de Chicago, una compañía tenedora de acciones. Pero su división de tuberías, Lock Joints Products, fue vendida a Gifford-Hill & Co., Inc. y es ahora la GHA Lock Joint, Inc. con sede en Dallas, Texas.

La obra de conducción transportaba agua a partir del campo de pozos principal de la agencia. Había sido diseñada para soportar sobrepresiones de 19,7 kg/cm<sup>2</sup>. Normalmente la presión no excede 7,0 kg/cm<sup>2</sup> y en el momento de la explosión media 4,9 kg/cm<sup>2</sup>, dice Robert C. Edmunds, presidente de la empresa Jones, Edmunds & Associates, Inc. de Gainesville, Florida. Dicha empresa está inspeccionando distintas partes de la tubería. Los caudales promediaban 416 millones de lit/día, con puntas de un tercio más.

<sup>1</sup>Reimpreso de ENR, Octubre 18 de 1990, derechos registrados, McGraw-Hill, Inc.

**Jardines sedientes.** La explosión ocasionó la prohibición de todo uso externo de agua por toda la zona afectada. Esto redujo el uso en unos 57 millones de lit/día, dice Emery. Los demás seis sistemas de conducción de agua de la Agencia están funcionando a doble capacidad para satisfacer la demanda. Por ser que estos sistemas son más antiguos, existe un riesgo relativamente elevado de falla y de intrusión salina a consecuencia de este bombeo excesivo.

Si la conducción principal a partir del campo de pozos de Cypress Field no puede repararse y mantenerse hasta la construcción de una nueva línea, o si alguna de las instalaciones más antiguas de conducciones se fuera a romper, las restricciones sobre el uso de agua podrían durar hasta por cuatro años, afirma Emery.

Entretanto, la Agencia se ha encargado de fijar advertencias a lo largo de la ruta de la conducción principal para que no se acerque la gente, dice Edmunds. "Cuando una tubería de ese tamaño se rompe, es como una explosión de bomba. Explota en un cráter y crea inundaciones; a veces ocasiona implosiones y se pueden aspirar objetos en la tubería, incluso a personas."

**Mala fabricación.** Después del accidente, los oficiales de la Agencia calcularon que se necesitarían más o menos seis semanas para restablecer el servicio puesto que la Agencia dispone de solamente unos 24 a 60 metros de tubería necesaria para reemplazar la sección en que se produjo la ruptura. Sus propios equipos de trabajadores harán las reparaciones.

Sin embargo, el comité ejecutivo dió permiso para comprar tuberías de la Cía. Price Brothers Co., Dayton, Ohio, la cual había suministrado una parte de la cañería inicial pero no fue nombrada en el pleito, dice Robert Ghiotto, vicepresidente de la CH2M en la oficina de Tampa, encargado de prácticas profesionales.

Ghiotto dice que una inspección de la tubería indicó que existían "algunas imperfecciones en la tubería de la empresa Price, pero no se podía decir que fuera defectuosa." En su totalidad, dice él, solamente el uno por ciento de toda la cañería es defectuoso.

Edmunds llevó a cabo un examen de dos secciones del interior de la línea para la Agencia. Afirma que la tubería entregada por la empresa Interpace no estaba bien fabricada.

Según Edmunds, hay en la tubería una capa interior de 3,8 cm de hormigón, espiralmente enrollada con un alambre de acero de calibre 6 y recubierta por 13 cm de hormigón. En las secciones defectuosas, la capa interior de hormigón no contiene suficiente cemento, el refuerzo se ha vuelto resquebrajoso debido al hidrógeno y la capa

exterior es demasiado delgada, de calidad pobre y en estado de deterioro.

Según los documentos obtenidos por la Agencia por medio del proceso de descubrimiento asociado con el pleito judicial, en lugar de haberse calentado y tratado el alambre a 177°C como se requiere, el procedimiento se realizó a 343°C.

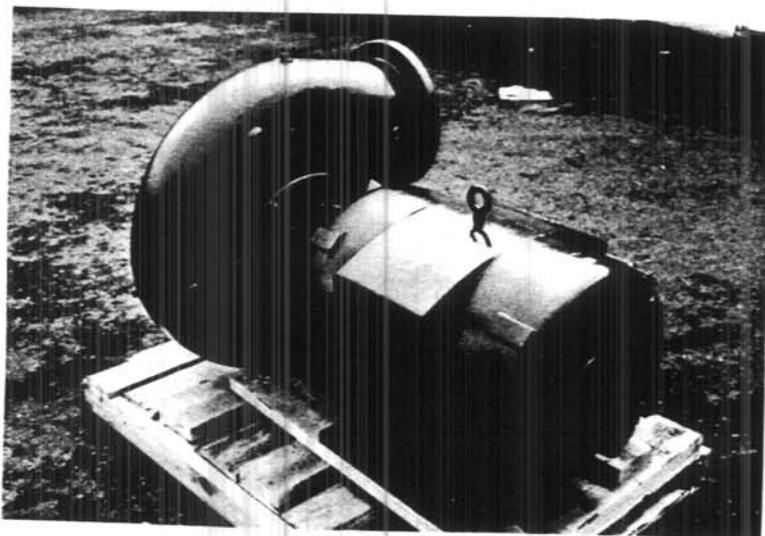
Ghiotto concuerda en que la falla es el resultado de defectos de fabricación. "Solamente especificamos el uso de tubería pretensada. No creo que los ingenieros consultores debiesen ser responsables por los procedimientos de control de calidad de los fabricantes."

Además de su rápida actuación en la realización de las reparaciones, la Agencia proyecta adelantar la construcción de un nuevo sistema de transporte de agua a partir del campo de pozos de Cypress Creek como parte de un programa que mira a doblar su capacidad de entregas hidráulicas (ENR 9/6/90 p. 11). Dicha red de 80 kilómetros costará entre US\$125 y US\$130 millones de dólares. El proyecto podría completarse dentro de unos tres años, dice Emery, pero no se ha fijado ninguna fecha para comenzar la obra.

Por Bob Boyle en St. Petersburg, Florida, EE.UU.

# EL CUIDADO DE LAS BOMBAS ASEGURA UN RIEGO SIN PROBLEMAS<sup>1</sup>

por Gary Spencer<sup>2</sup>



La inspección de bombas en forma regular es el primer paso en su protección.

¿Habrá sufrido Ud. alguna vez una costosa reparación de bombas y una crítica pérdida de tiempo? Si su contestación a esta pregunta es afirmativa, Ud. necesita un programa regular de inspecciones y mantenimiento de bombas.

¿Por qué será que tantas veces se descuida el mero corazón del sistema de riego hasta el momento de suceder una avería? La respuesta es sencilla: Las bombas siempre han sido un misterio. Recuerde el viejo dicho inglés, el cual, traducido, dice: "si algo no está descompuesto no lo componga), cuya aplicación en el caso de las bombas es perfecta. Quizá sorprenda saber que en el cálculo de las horas de trabajo requeridas en una instalación de riego, la proporción de horas dedicadas al mantenimiento de bombas es sumamente baja.

Con 36 años de especialización en bombas, mis consejos son:

- \*Compre equipos de alta calidad, porque la bomba es el corazón del sistema.
- \*Conozca y comprenda su equipo.
- \*Mantenga un programa de inspecciones regulares y conserve las

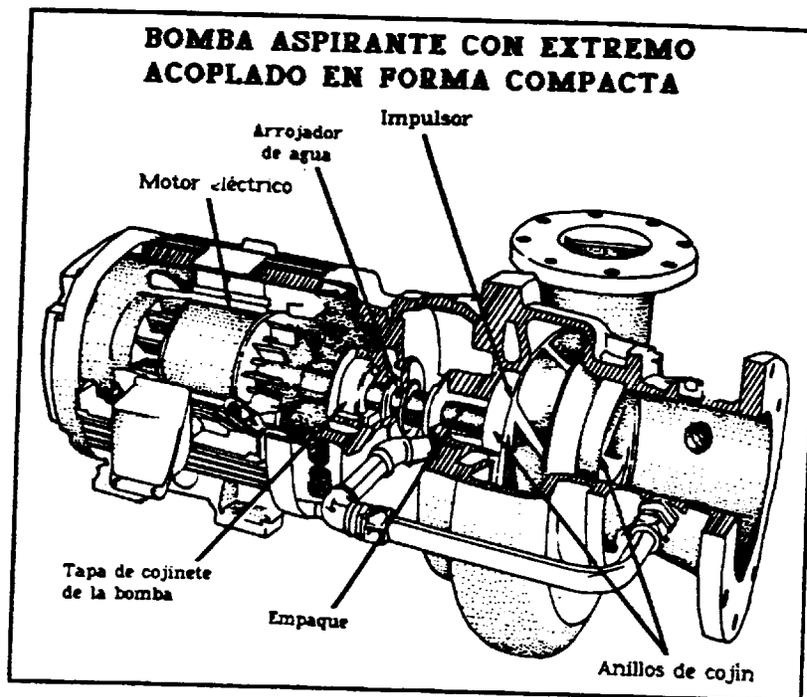
<sup>1</sup>Reproducido con permiso del Redactor Asociado de Irrigation Journal, edición de Mayo/Junio de 1990

<sup>2</sup>Representante de Ventas de Cornell Pump Company de Portland, Oregon.

hojas de servicios y apuntes.

\*Sea razonable y pida ayuda cuando tenga un problema que Ud. no puede resolver solo.

La época de la energía barata se ha ido para siempre. Para obtener el máximo rendimiento de cada kilovatio-hora, es esencial mantener la bomba y el motor en buenas condiciones. Las pérdidas de eficiencia debidas al desgaste o negligencia se traducen en fuertes aumentos en los costos de operación.

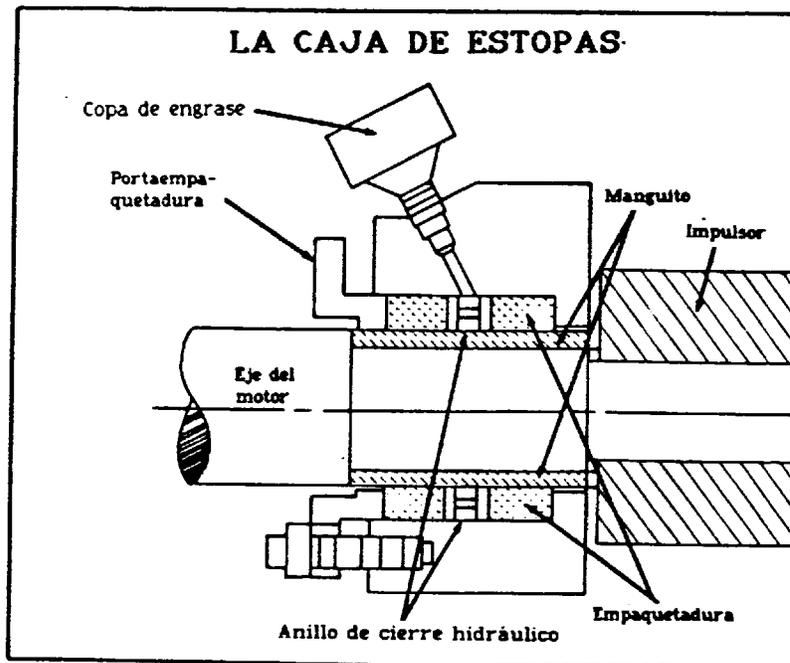


**Inspección de bombas.-** Una inspección típica de bombas incluye una observación comprensiva de todos los aspectos del equipo. Las inspecciones periódicas le permitirán desarrollar la sensibilidad necesaria para reconocer el sonido y sentido de la buena marcha de una bomba.

**Toque con las manos los motores y las bombas.-** Fíjese en sonidos o vibraciones fuera de lo usual. Note si un cojinete o motor despiden demasiado calor, o si existe algún olor distinto, tal vez parecido a un fusible quemado.

**Tenga cuidado con los acoplamientos de mando y controles eléctricos.** No se exponga a daños tocando cosas no conocidas.

La caja de estopas puede ser la causa de fallas en muchas bombas. Un prensaestopa o sello mecánico con fuertes fugas puede ocasionar problemas. Agua que cae dentro del motor o casco del cojinete se infiltra en la extremidad de la bomba, lo cual deslava la lubricación del cojinete, ocasionando corrosión e inminente falla.



Si se acumula agua por debajo de un motor montado horizontalmente, el ventilador (que sopla sobre el embobinado del motor) aspirará el agua dentro del motor, con la posibilidad de quemarlo. El agua que chorrea en un motor de eje hueco vertical en una bomba de turbina vertical causará los mismos problemas. *Nótese que estos motores no son enfriados por agua.*

La vida útil de un motor eléctrico depende de un ambiente limpio y seco. Se debe elevar por lo menos en 15 cm por encima del suelo toda bomba montada horizontalmente y se debe instalar un tubo para drenar los derrames.

Las turbinas verticales tienen conexiones de drenaje en el pie de la descarga que sirven para conectar una manguera de desagüe. Las bocas de desagüe deben permanecer abiertas y fluyentes.

Siguiendo las indicaciones del fabricante, se ajustan fácilmente los prensaestopas y la copa de engrase. Esta requiere un lubricante especial, fácilmente obtenido en su localidad, que sirve para lubricar los prensaestopas y ayuda a cebar las bombas horizontales.

Al agregar un anillo empaquetador, asegúrese de que éste sea nuevo y limpio. Se debe alinear con cuidado el anillo sin ladearlo, ajustándolo a nivel hasta alcanzar el goteo especificado por el fabricante. Esto significa un goteo mínimo con una caja de estopas fría.

Los empaques secos y desgastados que han perdido su lubricación deben reemplazarse. Esto se hace por medio de un gancho especial para empaques, también fácilmente obtenible.

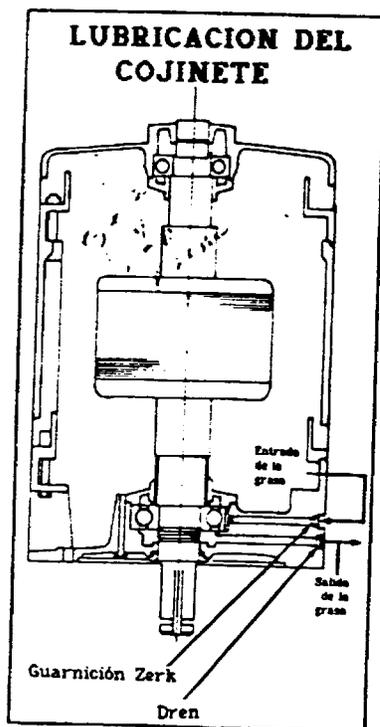
Después de retirar todos los empaques, se debe inspeccionar la manga del eje. Si la manga está acanalada o desgastada, el nuevo empaque no durará mucho, por cuanto se debe reemplazar la manga. Para esto hay que desarmar la bomba. Si se trata de una bomba horizontal, llévela al taller. Para las turbinas verticales generalmente se requiere extraer el motor y renovar el eje.

Si la bomba está equipada con un sello mecánico, no se le debe permitir que funcione en seco, ni siquiera por unos cuantos segundos. El agua lubrica la superficie de los sellos. Funcionando en seco, se quemará la bomba.

Se debe reemplazar el sello a la primera indicación de fugas. Esto requiere el desarme de la bomba, preferiblemente por un técnico especializado en bombas, para evitar daños al nuevo sello si no se instala en la debida forma. Por lo tanto, tenga mucho cuidado si Ud. se hace cargo de su propio mantenimiento de equipos.

El bombeo de arena o cieno naturalmente acortará la vida del empaque y de la manga, sellos y anillos. Buenas preparaciones y un buen emplazamiento del equipo pueden asegurar un servicio máximo.

Si la bomba está en el taller para el reemplazo de una manga, sería una buena oportunidad para medir el desgaste en los anillos. Si el desgaste alcanza 0,08 cm, es hora de rellenar los espacios con anillos nuevos y reparar el impulsor. Un desgaste excesivo resulta en un desperdicio de energía (y de dinero!) debido a las pérdidas de eficacia.



Lubricación.- ¿Qué tipo de lubricante debe usarse y cuándo? Estas preguntas se hacen repetidamente. Si el motor tiene guarniciones de engrase Zerk, requiere engrasamiento. Algunas de las bombas pequeñas, de 3 a 5 cv, no tienen guarniciones Zerk. Estos motores tienen cojinetes sellados y no necesitan engrasamiento.

Al agregar grasa, asegúrese de que ésta y las guarniciones estén bien limpias. Se debe utilizar grasa con el número de código EP-2. Otros tipos de grasa, tales como el de usos múltiples podrían servir, pero los fabricantes de cojinetes se atienen a recomendar solamente el EP-2 y no se debe utilizar otro lubricante, a no ser que el fabricante de los motores o bombas lo recomiende específicamente.

Para lubricar los cojinetes del motor eléctrico, se saca el tapón de alivio del engrasador. Utilizando una pistola de engrase manual, se inyecta la nueva grasa dentro de las guarniciones hasta que aparezca en el dren. Se debe hacer esto cuando la unidad no está en marcha para evitar que penetre grasa en el motor. Es bueno dejar quitado el tapón por varios días para permitir que el exceso de grasa se encamine hacia el dren y no hacia el interior del motor.

Generalmente después del engrasado, los cojinetes funcionarán en caliente por unos 20 minutos, debido a que el cojinete está purgando la grasa de las bolas y del portabolas. Al calentarse el cojinete, la grasa se convierte en aceite y este vapor de aceite lubrica el cojinete. Por lo tanto, es absolutamente esencial usar la grasa EP-2 para alcanzar la debida temperatura de fusión.

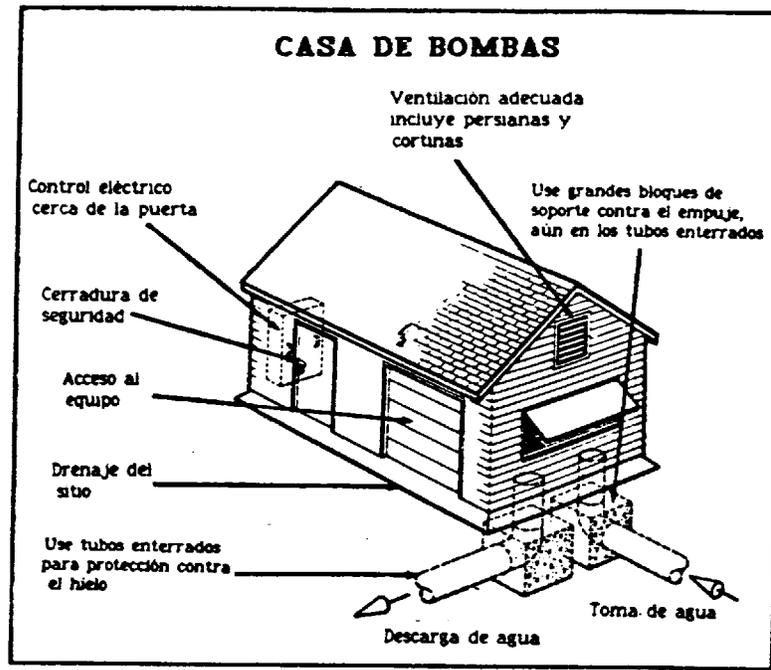
Las bombas montadas en armazones portadoras de cojinetes (las que tienen el motor aparte), normalmente se engrasan por la tapa del cojinete. El exceso de grasa se acumula en la amplia cavidad de la armazón y toma años para llenarse. Consulte el manual de operación del fabricante tocante a la frecuencia de engrasamiento. Generalmente, el tapón de purga es un tapón de tubería instalado cerca del pie de la armazón.

La debida ventilación del motor es tan importante como la lubricación. La temperatura en el bobinado del motor determina su vida útil y una temperatura normal le asegurará muchos años de servicio.

Muchos motores tienen telas de malla metálica instaladas en los respiraderos para prevenir la entrada de pequeños animales roedores. Se deben limpiar periódicamente estas telas para conservarlas libres de peluzas, pajas, mala yerbas, tierra, cascajos y otras basuras para asegurar una buena circulación de aire frío.

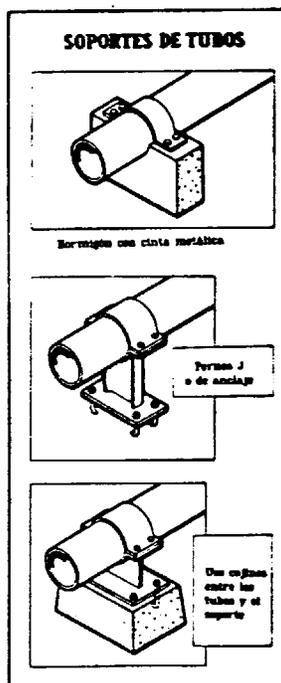
El autor es partidario de cobertizos bien ventilados para proteger las bombas y el mecanismo de control contra el sol y la lluvia. Los rayos directos del sol pueden elevar en 10 a 20 grados la temperatura ambiental y consecuentemente la temperatura del motor. Para cada 10 centígrados de alza de temperatura por encima de la capacidad normal del motor, la vida útil del mismo queda reducida por la mitad. En las casas de bombas, la instalación de ventiladores de expulsión controlados por termostato ayuda a mantener una circulación de aire frío y una temperatura aceptable.

Vibraciones.- ¿Qué es lo que indica una vibración extremada? Podría ser el resultado de un desalineamiento del acoplamiento de mando o una indicación del comienzo de la falla del cojinete. Algunas bombas hasta llegan a girar sobre bases poco sólidas, o si no están bien sujetadas en sus cimientos.



El desalineamiento de la tubería puede también causar vibraciones. Los tubos llenos de agua, pero sin soporte, imponen una tremenda carga sobre la cubierta de la bomba, rompiéndola si la carga es suficientemente pesada.

Las tuberías necesitan soportes para que se pueda sacar la bomba sin provocar tensión o fatiga. El autor prefiere usar un acoplamiento de tubería flexible, ya sea en la toma o en el punto de descarga.



El comienzo de un ruido en una bomba que ha estado funcionando en silencio, por lo general indica que el cojinete está fallando y se debe reemplazar inmediatamente para evitar daños irreparables al motor o a la armazón.

Un cojinete que falla repetidamente indica un posible desalineamiento o deformación. A veces sucede que el cojinete sea de tipo equivocado o que no sea suficientemente resistente para el caso. De haber duda, se debe pedir al fabricante de la bomba un cálculo de la vida útil del cojinete B-10.

El sistema eléctrico.- Al igual que la bomba y el motor, el mecanismo de control requiere inspecciones y mantenimiento en una base regular. Hay que valerse de los servicios de un electricista especializado en

controles y arrancadores de bombas. El electricista debe revisar los contactos del mecanismo de arranque y reemplazar los que tengan escoriaciones múltiples o desiguales. De no hacerse esto, estas piezas se calentarán y producirán una elevación de corriente que hará fallar el dispositivo de protección contra sobrecargas.

Nunca faltará en quemarse un motor si se instalan disyuntores con una graduación muy elevada o si se ajusta el límite de sobrecarga a un grado excesivo. Le tocó una vez al autor ver el botón del arrancador de un motor detenido por un palo clavado contra la puerta. Esta "buena idea" resultó costando el rebobinado de un motor de 150 cv.

El electricista debe revisar y ajustar cada uno de los tornillos en el tablero. Después de varios años de servicio y debido a los cambios normales de temperatura, los tornillos de sujeción tienden a aflojarse. Una conexión floja causará calor, quemará el alambrado eléctrico, dañará el interruptor y/o acortará el ciclaje del motor, causando sobrecalentamiento. Hay que recordar que la progresión de elevaciones de temperatura en un motor eléctrico debe ser baja para asegurar su buen funcionamiento por muchos años.

## CONSERVACION DEL AGUA: YA ESTA AQUI EL DIA DE MANANA<sup>1</sup>

por Steve Swenerton<sup>2</sup>

En California y en el sudoeste del país, el agua ha sido el objeto de vehementes discusiones desde hace mucho tiempo. Pero ahora los debates se ha intensificado al entrar en su quinto año de sequía dicho estado.

Ahora las discusiones no conciernen los derechos de agua, ni la escorrentía agrícola, ni el tratamiento del agua, sino el comercio--la compra y venta de agua entre los que la tienen y los que no la tienen. Toda persona cuyo negocio depende de la disponibilidad de agua ya no puede olvidarse de la cuestión de la conservación de los recursos hidráulicos. Esto es cierto no solamente en el Oeste, sino en todos los Estados Unidos.

El agua es un recurso natural, que nunca ha sido tratado de la misma manera que otros recursos naturales, tales como el carbón o el petróleo. Nunca ha estado sujeto a las fuerzas del mercado libre. Enormes proyectos federales de suministro de agua siempre han producido un abastecimiento que satisfacía la demanda. Inclusive, nosotros como consumidores, comparábamos los recursos hidráulicos con el maná del cielo. Ya no disponemos de este lujo.

Ante todo, existe una verdadera escasez de agua potable. Los científicos y especialistas del ambiente han hablado de esto por años. En términos más sencillos, consumimos nuestro abastecimiento de agua más rápidamente de lo que la naturaleza lo puede renovar.

La capa acuífera de Ogalalla, la principal fuente de agua para los estados del medio oeste y de las altas llanuras está seriamente amenazado por usos excesivos y la contaminación de la escorrentía agrícola. Para cada galón de agua bombeada, solamente el equivalente de una tasa se devuelve por el proceso natural de la recarga del manto freático.

En la actualidad, los efectos de la sequía son muy patentes en el sudeste, el noreste, el medio oeste y hasta en el noroeste Pacífico. Durante la recién y larga sequía en la ciudad de Nueva York, se impusieron estrictas sanciones sobre el uso del agua y se aprobó por primera vez una ley que manda la instalación de medidores de agua en todos los edificios de la ciudad.

---

<sup>1</sup>Reproducido con autorización del Redactor Asociado, Irrigation Journal, número de Noviembre/Diciembre de 1990.

<sup>2</sup>Director de Ventas de Toro Irrigation Division en Riverside, California.

Estos acontecimientos nos hacen recordar a todos que nuestro abastecimiento de agua no es infinito, y las fuerzas económicas nos lo ponen hasta más de manifiesto.

Las restricciones federales tienen mucho que ver con el cambio de actitudes. En 1986, y por primera vez en 10 años, el Congreso de los EE.UU. aprobó un proyecto de ley que asigna US\$16,3 mil millones al desarrollo intensificado de los recursos hidráulicos. Este proyecto comprende una previsión muy importante, o sea, obliga a los estados individuales a asumir un 25 a 30 por ciento del costo de los mejoramientos a realizar en cada estado. Entre los proyectos de ley anteriores, si algunos contenían requerimientos de participación local, estipulaban solamente una cuota de 5 por ciento más o menos.

Algunos estados piensan que ya se apagó para siempre el "grifo" federal. La Asociación de Gobernadores de los Estados del Oeste acaba de adoptar una política sobre recursos hidráulicos que manda una revisión de las leyes federales, estatales y locales para alentar la conservación y reasignación de los abastecimientos existentes de agua. La asociación considera la nueva política como una propuesta de mercado libre que asignaría el agua existente a las áreas en desarrollo y elevaría el precio del agua a las tasas del mercado.

Esta preocupación con la conservación del agua marca una importante reversión de actitud. La política hidráulica federal había sido por mucho tiempo basada en el dictado de "úsela o piérdala" que no provee ningún incentivo para la conservación.

El proyecto hidráulico, Central Arizona Project, ilustra como han cambiado los tiempos. Esta instalación, concebida hace casi 40 años, tenía por meta el hacer florecer el desierto con cosechas comerciales. Cuando finalmente se inauguró la conducción de agua de 300 kilómetros en 1985, quedó evidente que serían las ciudades crecientes del estado de Arizona, y no sus granjas, quienes beneficiarían de la mayor parte del agua de este proyecto.

¿Por qué será eso? Pues resulta que los consumidores urbanos y domésticos pueden pagar más por el agua que los granjeros, quienes cuentan por sólo un 2,4 por ciento de los ingresos brutos del estado.

Una cosa es bien cierta: El precio del agua subirá y con ello, la preocupación del consumidor tocante a su uso. Esto señalará un cambio en el mercado del riego, cosa que acogeremos con placer.

Aquí en la fábrica Toro, creemos que nuestra industria ya no puede pasar por alto estas señas de advertencia. La conservación del agua es vital para nuestro continuo crecimiento y buena salud en el futuro. El educar a los clientes sobre las debidas prácticas de regadío

e informarles acerca de los productos más eficientes en el uso del agua impera en la actualidad más que nunca, tanto para la agricultura como en las aplicaciones panorámicas.

Después de todo, somos expertos en el uso del agua. Por ser que un gran número de nuestros clientes radican en el Sunbelt (zonas más bien desérticas), la empresa Toro se ha dedicado mucho a desarrollar productos para el riego en regiones áridas y propensas a sequías. Desde hace años, hemos patrocinado y administrado escuelas de tecnologías de riego y programas de formación técnica para nuestros clientes con el fin de promover prácticas de buena utilización de los recursos hidráulicos. Nos hemos comprometido a estar en la vanguardia de la industria del riego en la promoción de tales prácticas y en el desarrollo de nuevos productos que ayudan a conservar el agua y la energía eléctrica a través de un uso más eficiente.

Nadie en la industria del riego puede permitirse olvidar que el agua es la fuente no solamente de nuestra subsistencia, sino de nuestra vida. El riego ha hecho posible lo que antes no era posible y los consumidores, tanto en las granjas como en los centros urbanos, no están dispuestos a perder las ventajas de estos avances.

Frente a las incrementadas demandas por agua, nosotros en la industria del riego debemos, tanto para nuestro bien como para el de las generaciones futuras, hacer todo lo posible para asegurar que el futuro para toda América será verde.

## ESTADOS UNIDOS ABORDA EL PROBLEMA DE LOS TANQUES DE COMBUSTIBLE CON FUGAS<sup>1</sup>

por Virginia Fairweather

---

De acuerdo con los cálculos de la Agencia para la protección ambiental, Environmental Protection Agency (EPA), unos 400.000 tanques subterráneos de almacenamiento de petróleo por todos los Estados Unidos tienen fugas que contaminan los terrenos en su alrededor. Los costos para reacondicionar estos tanques en cumplimiento con la normas fijadas por la EPA en su Programa para tanques de almacenamiento subterráneo, Underground Storage Tanks (UST), promediando cada uno US\$70,000, ascenderán a miles de millones de dólares. El agua subterránea está en peligro y los estados se apresuran a cumplir con las disposiciones de la EPA para las fechas señaladas. Los ingenieros civiles desempeñan un papel importante en los esfuerzos para estancar estas fugas.

---

Según la EPA, el agua subterránea es la fuente de agua potable para la mitad de la población de los Estados Unidos. La agencia también estima que existen cerca de 2 millones de tanques subterráneos de petróleo por todo el país, de los cuales casi el 25 por ciento tienen fugas. Las consecuencias son serias, y el programa UST de la EPA para el reacondicionamiento de los tanques subterráneos ha sido establecido para corregir esta situación potencialmente peligrosa. Jack Kramer, de la Junta de recursos hidráulicos en Texas, o sea la Texas Water Commission (TWC), y encargado de las actividades del programa UST en dicho estado, comenta que el 90 por ciento de los programas que miran a cumplir con las normas de la EPA, son dirigidos por ingenieros consultores.

El programa UST fue establecido en 1984, bajo enmiendas al Acta de conservación y recuperación de recursos, Resource Conservation and Recovery Act (RCRA). Para describir el programa es sus términos más sencillos, la EPA ha promulgado reglamentos con una serie de fechas límites en el transcurso de la próxima década, comenzando en 1989 para los tanques instalados antes de 1969. Estos plazos son para la realización de inspecciones del sitio y el acabamiento de trabajos para asegurar el buen estado de los tanques en conformidad con el programa UST. El término "conformidad" incluye opciones de protección contra corrosión y fugas en los tanques y conductos; medidas a tomar en caso de derrames durante las entregas; y verificación periódica de los tanques por toda su vida útil.

Cada estado administra individualmente el programa por medio de una agencia. Kramer describe las actividades de su agencia como muy intensas y los acontecimientos en Texas lo comprueban. Este

---

<sup>1</sup>Reimprimido de la publicación Civil Engineering, edición de diciembre de 1990.

estado cuenta con un gran número de tanques, al mismo tiempo que depende en gran parte de las aguas subterráneas. Estos dos factores figuran en la consideraciones de la EPA en la adjudicación de fondos federales para ayudar a los estados en sus proyectos de reacondicionamiento de tanques. Asimismo, como otra medida de su agresividad, la idoneidad del estado para utilizar estos fondos es un factor bastante importante. Dea Larsen, empleada de la EPA, dice que Texas ha recibido cerca de US\$10 millones hasta la fecha, en comparación con la base de US\$300,000 adjudicada a cada estado. Michael Kalinoski, otro representante de la EPA, agrega que varios estados también han sobrepasado la base asignada de US\$300,000.

Este fondo, que ayuda a pagar por la limpieza de derrames ocasionados por personas o empresas desconocidas, o que no pueden pagar los gastos consecuentes, fue establecido por enmiendas agregadas al acta RCRA en 1986 y proviene de un impuesto sobre la venta al por mayor de la gasolina. El fondo ha alcanzado su límite estatutario de US\$500 millones, por cuanto el impuesto ya no se cobra para este propósito, dice Larsen.

La Junta estatal de Texas ha dispuesto reglamentos un poco más estrictos que los de la EPA. Por ejemplo, las fechas límites son más cortas en algunas categorías y los tanques pequeños deben también satisfacer los reglamentos. La aprobación formal de la EPA incluye el asegurar que los programas de cada estado serán por lo menos tan estrictos como las reglas federales, que el estado se empeñará en cumplir adecuadamente con los reglamentos, y que un convenio financiero viable será establecido para garantizar US\$1 millón en pólizas de seguro.

El programa para el estado de Texas aún no ha recibido aprobación formal. Según Greg Waldrip de la EPA, hasta la fecha, solamente Mississippi y Nuevo México gozan de la aprobación formal de la EPA. Sin embargo, 37 estados tienen estatutos que les permiten establecer fondos locales para pagar por el programa UST.

El estado de Texas, no obstante la falta de aprobación formal y al igual que muchos otros estados, sigue avanzando rápidamente en la búsqueda de medidas para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. Kramer dice que actualmente hay más de 131.000 tanques registrados en Texas. La ley estatal prohíbe la entrega de combustible a tanques no registrados por el estado, por cuanto los respectivos dueños no demoraron en cumplir con este reglamento. Kramer cree que se gastarán cerca de mil millones de dólares en los próximos 5 a 10 años para reacondicionar los tanques con fugas, suponiendo que un 25 por ciento de éstos tienen fugas. Dicho señor estima que el reacondicionamiento completo de un tanque ascendería a aproximadamente US\$75,000. También existe la posibilidad de haber más tanques enterrados no conocidos, los que muchas veces

se descubren durante excavaciones en la construcción de nuevos caminos. Texas ayudará a los dueños de tanques a partir de un fondo fiduciario estatal establecido por una cuota percibida sobre las entregas de gasolina a granel.

Si no se cumple con las fechas límites previstas, los tanques serán retirados de servicio y se llenarán con material inerte dentro de un plazo de 30 días. Representantes de la junta TWC deberán estar presentes en el sitio para asegurar el cumplimiento con este reglamento. Si el terreno está contaminado, la junta ordenará y dirigirá las medidas de saneamiento del mismo.

La capa acuífera Edwards en Texas, dice Kramer, presenta problemas muy particulares. Es la única fuente de agua potable para la ciudad de San Antonio y algunas otras poblaciones; asimismo es la única capa acuífera en el estado y figura entre las demás 20 capas de agua potable así designadas por todo el país. Bajo los reglamentos en vigor, todos los tanques que reposan sobre estas capas de agua, tendrán que ser reemplazados con tanques de doble pared. Existe preferencia para este tipo de tanques en otras áreas también.

#### Abordando el problema a dos niveles

La ciudad de Houston se vale de los servicios de dos firmas consultoras para hacer frente a sus problemas de tanques. Una de ellas es McClelland Consultants of Houston, empresa consultora en ingeniería. La otra firma es Deloitte & Touche, consultora en administración, cuya oficina en Houston ha tratado de determinar la "lógica" de la ubicación de los tanques de combustible de la ciudad, así como los ciclos de distribución y la política municipal en general, según afirma Gerry Mendelbaum. Utilizando programas de computadora previamente usados para analizar la distribución de productos, la firma Deloitte modeló varias hipótesis para optimizar las operaciones de abastecimiento de combustible a los vehículos municipales.

John Grubbs del departamento de Servicios Generales Municipales, quien tomó la vanguardia en el programa UST, opina que la ciudad funciona en una base descentralizada. Según él, los oficiales de la ciudad reconocen que los nueve departamentos municipales disponen de un exceso de estaciones de abastecimiento de combustible y que al mismo tiempo, cuentan con la flota la más grande de vehículos en Texas. De haberse confrontado el problema desde el seno de cada uno de estos departamentos hubiera caótico, dice él, y ese fue el motivo para encomendar a la firma Deloitte la realización de los estudios necesarios.

"Cuando Ud. hace excavaciones y reparaciones, ¿por qué no examina cada sistema para averiguar la necesidad de tantos tanques?", sugiere

Mendelbaum. Todos los dueños de tanques deben investigar, mejorar y, cuando sea necesario, reacondicionar sus tanques en cumplimiento con las directivas del programa UST, por cuanto sería una buena oportunidad para acertar la lógica del sistema global -- si es que hay alguna. En el caso de Houston, por ejemplo, Deloitte y Touche notaron que los vehículos municipales no siempre se abastecían a partir del tanque de combustible el más cercano, sobre todo si éste pertenecía a otro departamento de la ciudad. Al contrario, los choferes preferían ir hasta el sitio de tanques de sus propios departamentos, consumiendo más combustible y contribuyendo a la intensidad del tráfico, contaminación ambiental y desgaste de los vehículos.

A consecuencia del estudio en Houston, la firma Deloitte y Touche recomendó el cierre de aproximadamente 30 sitios municipales de abastecimiento de combustible, los cuales comprenden unos 50 tanques del municipio. La firma Deloitte está actualmente colaborando con los consultores McClelland para comercializar esta manera de proceder a dos niveles (ingeniería y administración), ofreciéndola a otros dueños que posiblemente tengan un número excesivo de tanques de combustible subterráneos.

Rick Anderson, Gerente de Proyectos de McClelland, tiene a su cargo el vasto proyecto del UST en Houston. La empresa McClelland cuenta con casi el mismo número de proyectos en el sector público como en el privado, incluyendo contratos con el Servicio Postal en Dallas, San Antonio y Oklahoma City; asimismo con la Marina Nacional en Texas; con el condado de Harris que comprende Houston; y con varios otros propietarios de tanques públicos y particulares. Para dar una idea del número de tanques de que se trata, el Servicio Postal tiene más de 125 tanques en Dallas, y los de la Marina superan a 175 por todo el estado. Houston cuenta con 450 tanques distribuidos entre sus nueve departamentos por toda la ciudad.

Según afirma Anderson, la ciudad de Houston tiene un plan de cinco años para reacondicionar sus tanques en conformidad con los reglamentos federales y estatales, a un costo de más de US\$5 millones y se gastarán por lo menos otros US\$4 millones para el saneamiento de los sitios contaminados. Además, agrega dicho señor, la firma McClelland tiene un contrato de dos fases con la ciudad, de las cuales la primera fase, ahora completada, incluía visitas a los sitios comprendidos en el programa UST, un repaso de las necesidades de la ciudad y la consideración de las medidas a tomar para asegurar el cumplimiento con los reglamentos. Esta fase también comprendía un informe de 600 páginas sobre los tanques de la ciudad, presentado en junio por McClelland, así como una base de datos computarizados. Esta base le permitirá a la ciudad actualizar los datos en cuanto al reacondicionamiento o eliminación de los tanques.

La fase Uno también incluía el verificar la pericia de los contratistas para llevar a cabo el reacondicionamiento y reemplazo de los tanques. Esto se hizo por medio de cuestionarios presentados por McClelland a las firmas interesadas. En base de la evaluación de las respuestas, se escogieron las ocho firmas que harán el trabajo en la fase Dos. Los responsables municipales verificaron los antecedentes de las firmas en cuanto a fianzas y obligaciones financieras, cosa que talvez tengan que repetir en caso de necesitarse un mayor número de contratistas en el futuro. En colaboración, McClelland y el municipio también verificaron la capacitación de los servicios encargados de la inspección y pruebas de los tanques. De acuerdo a los reglamentos, se deben realizar inspecciones periódicas de los tanques durante toda su vida útil. El grupo del señor Anderson también ofrecerá a los funcionarios una serie de nueve clases sobre estos reglamentos.

Para la fase Dos, McClelland ha delineado la esfera de la obra global y, dividiéndola en sitios específicos, pedirá propuestas a los licitadores para cada obra individual. Los trabajos en cada sitio habrán de comenzar a principios de 1991.

El alcance de la fase Dos es impresionante: abarca el control y administración de todos los trabajos de construcción, planes genéricos de diseño para el reemplazo y mejoramiento de los tanques y responsabilidad por todo percance ambiental. La averiguación de gas en el suelo de los sitios donde están ubicados los tanques, así como las pruebas de los mismos tanques, serán realizadas por McClelland como parte del proceso de evaluación. De encontrar contaminación en los suelos o en las aguas subterráneas--cosa muy probable, según opina Anderson, basado en las estadísticas de la EPA--la esfera de trabajo de McClelland se ampliará y la firma proveerá servicios de ingeniería para el trabajo de saneamiento necesario. Al describir el reconocimiento de los suelos gaseosos, Anderson dice que los sondeos convencionales para obtener datos pertinentes cuestan casi US\$7.000 para cuatro puntos de tanteo, mientras que la firma puede coleccionar datos en 15 puntos por US\$2500, utilizando un sistema hidráulico de su creación, el cual empuja un tubo continuo de 6,1 metros, con un elemento poroso en la punta. Se pueden recoger muestras de vapores discretos, analizándolas en el sitio mismo, conforme va avanzando el tubo.

La eliminación de los suelos contaminados figura en el elevado costo del saneamiento. Texas establece normas y pruebas que precisan los niveles aceptables de contaminación en sus basureros. Si los suelos exhiben bajos niveles de contaminación por gasolina, el costo de vaciarlos en estos sitios es de US\$10/m<sup>3</sup>. Para los suelos muy contaminados, el costo puede ascender a US\$65/m<sup>3</sup>.

## Tratamiento contra la corrosión

Para cumplir con los reglamentos del programa UST, todos los tanques nuevos deben ser de fibra de vidrio, recubiertos de acero, o tener un sistema de protección catódica. Asimismo, pueden ser totalmente de fibra de vidrio. James R. Meyers de la firma consultora JRM y perito en cuestiones de corrosión, trabaja en Franklin, Ohio. El estima en un promedio de US\$80,000 a US\$90,000 el costo de remover un tanque viejo y de excavar e instalar un depósito nuevo. Ese precio comprende el valor del tanque, o sea US\$10,000, que sea de fibra de vidrio o acero.

Michael Kalinoski de la EPA comenta que se vienen instalando mitad y mitad los tanques de fibra de vidrio y de acero por todo el país. Las fugas y fallas se deben más bien a malas instalaciones, ciertos tipos de agua y suelos, y juntas mal apretadas en las tuberías, que a los materiales utilizados en la fabricación de los tanques. Además, la agencia estima que hasta el 70 por ciento de las fugas en los depósitos se deben a roturas en las tuberías. Después de un estudio de averías de tanques, pagado por la EPA y realizado en 1988, se ha concluido que en la predicción de fallas, el espesor de las paredes de los tanques es más importante que el número de años de servicio; que los tanques de acero pequeños son más susceptibles a las perforaciones que los tanques grandes, debido al calibre más delgado del acero utilizado; y que la mayoría de los tanques están en peores condiciones de lo que revelan las investigaciones. Para la realización del estudio, en un transcurso de 18 meses, se sacaron de la tierra en el condado de Suffolk, estado de Nueva York, 500 tanques de acero y 12 tanques equipados con protección catódica.

Myers concuerda en que el tipo de suelo es un factor muy importante en cuanto a la corrosión, y dice que en los suelos de baja resistividad, puede ocurrir la autodestrucción de los ánodos de protección catódica. Además, los tanques de fibra de vidrio nunca se oxidan, pero su instalación debe "realizarse en forma precisa de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes", sino se pueden rajarse. El relleno es complicado, sobre todo por el debado de las piezas salientes en la extremidades de los tanques, y puesto que el material es más ligero que el acero, se deben sujetar bien los tanques de fibra de vidrio para evitar su levantamiento debido a las subpresiones ocasionadas por cambios en el manto freático.

Myers comenta que los trabajadores tienden a valerse de medios rápidos cuando instalan tanques, y ésta es la principal causa de fugas en los tanques. La instalación de tanques debe vigilarse cuidadosamente.

Además de instalar tanques nuevos donde se necesitan, los reglamentos del programa UST requieren equipos de detección de

fugas y la instalación de dispositivos de protección contra rebosamientos y de prevención de derrames, como, por ejemplo, vasos de captación. El mantenimiento incluye un programa de verificación de la impermeabilidad de los tanques y distintas medidas de prevención de fugas, así como inventarios y otras anotaciones.

Myers piensa que una debida habilitación en la materia es imprescindible para el éxito del programa, citando los estados de California, Ohio y Iowa como ejemplos de excelente capacitación de sus funcionarios en cuanto a los reglamentos del UST. Este mismo señor forma parte de un grupo de instructores en un curso patrocinado por el estado de Iowa, para el aprovechamiento de 750 funcionarios. No obstante que los tanques instalados en muchas granjas en Iowa están exentos de los reglamentos de la EPA, Myers opina que un 10 por ciento de los tanques agrarios de combustible por todo el país podrían tener fugas. Aunque los estados pueden imponer normas más rígidas que las de la EPA, no parece haber, en la actualidad, ningún impulso en el sentido de reglamentar los tanques de fincas.

John Hartmann de la empresa Hartmann Management Services, en Barrington, Illinois, hace referencia al poderoso programa UST como la fuerza que ha dado un tremendo empuje a los servicios de consulta. Su empresa existe desde hace 30 años, brindando servicios como consultores en la rama de equipos para la industria petrolera, pero actualmente las consultas para la aplicación de los reglamentos del programa UST cuentan por el 75 por ciento de sus negocios. La firma ofrece consultas para los dueño de tanques y cursos sobre la manera de cumplir con los reglamentos del programa UST. Contemplando los avances realizados por todo el país en este sentido, Hartmann cita a Philadelphia y Chicago como "desastres", pero al igual que Myers, perito en corrosión, señala a Iowa por su manera ilustrada de abordar el programa UST. Cabe notar que el abastecimiento en agua potable para muchos de los habitantes de Iowa proviene de aguas subterráneas.

Iowa no sólo releva a los contratistas de posibles obligaciones, sino que el estado también tiene fondos a la disposición de aquellos dueños de tanques que no pueden pagar por pólizas de seguro, y asimismo ofrece seguros. Además, Iowa proporciona préstamos de bajo interés para el mejoramiento de los tanques subterráneos.

El estado inclusive exige cursos de capacitación antes de certificar y otorgar licencias a los contratistas interesados. Hartmann dice que no hay manera de calificarse como experto en este campo y recomienda que los ingenieros consultores tomen los cursos del UST. La EPA, dice él, consideró en un tiempo la idea de exigir que sólo los ingenieros profesionales estuviesen encargados de estos trabajos. Pero, agrega Hartmann, el hecho de ser certificado no garantiza la

pericia en esta rama de ingeniería y urge a los ingenieros capacitarse antes de introducirse en este mercado bien difícil.

Es posible que se gasten mil millones de dólares en Texas en el curso de la próxima década para reacondicionar los tanques de combustible subterráneos.

### El porvenir de los tanques de combustible

Las posibilidades mercantiles del programa UST seguirán creciendo a la vez que los dueños de tanques de combustible subterráneos estén obligados a cumplir con los reglamentos o a cerrar sus comercios. La requerida ingeniería y construcción no son de carácter muy particular en la mayoría de los casos, pero la amplitud del problema y los límites de plazos para el cumplimiento presentan un reto muy interesante.

La contaminación proveniente de tanques que tenían fugas en el pasado representa otro problema. En estos casos, los ingenieros se enfrentan a un verdadero reto técnico. Richard W. Klippel de la firma Malcolm Pirnie, Inc. de Liverpool, estado de Nueva York, relata un caso pertinente en el cual la contaminación del suelo fue inesperada. Este y otros factores contribuyeron a retrasar el trabajo y a doblar el costo previsto. Se trataba de una empresa de servicio público que deseaba aumentar sus reservas de petróleo por medio del reemplazo de sus dos tanques subterráneos existentes con cuatro nuevos.

Los tanques existentes habían recibido la aprobación del UST en cuanto a su impermeabilidad, pero al empezar las excavaciones, quedó evidente que pequeñas fugas en el transcurso de muchos años habían contaminado una amplia extensión de suelo. Se tuvo que remover grandes cantidades de suelo contaminado, así como obtener un permiso para su eliminación en un sitio de desperdicios a un costo de US\$190 por tonelada. También sucedió que por otros motivos, el basureo estuvo cerrado por cierto tiempo, ocasionando más demoras en los trabajos. El sitio de las excavaciones para la instalación de los tanques tuvo que ser reforzado con tablescado de los cuatro lados. Y para colmo, hizo mal tiempo, de tal manera que la construcción cuyo acabamiento estaba previsto para el verano, no se completó sino hasta el invierno. Irónicamente, la idea inicial había sido de ahorrar dinero a la empresa, proporcionándole una reserva de petróleo para los períodos en que el costo de sus abastecimientos regulares de gas natural subiera excesivamente. De haberse anticipado el costo total de esa nueva instalación, incluyendo el inesperado saneamiento y eliminación de los suelos contaminados, quizá los interesados hubiesen tomado otra decisión en cuanto al uso de gas en comparación con el petróleo.

Los suelos contaminados con petróleo no necesitan ser excavados y transportados a un costoso sitio de desperdicios. Aparte de las limitaciones físicas, el expedir licencias puede presentar un problema. Se han desarrollado procesos biológicos de saneamiento de suelos que representan un acercamiento nuevo que puede ser muy eficaz puesto que, según afirma Peter Westhaus de la empresa Biotrol, Inc. de Chaska, estado de Minnesota, los microbios degradan rápidamente los hidrocarburos en el sitio mismo. El proceso ha sido exitoso en muchos casos y se han establecido cerca de una docena de comercios que ofrecen este servicio en la actualidad.

La Biotrol, Inc. está actualmente trabajando en dos proyectos de esta índole, ambos para clientes particulares. Típicamente, los clientes suelen prescindir de los servicios de un consultor, dirigiéndose directamente a empresas tales como Biotrol para satisfacer los reglamentos del programa UST o para cualquier proyecto de saneamiento de suelos contaminados.

Otras empresas miran hacia el futuro, cuando posiblemente se puedan almacenar en tanques subterráneos otras clases de combustible para vehículos. Hace poco, el instituto de tanques de acero, Steel Tank Institute, de Zurich, estado de Illinois, comisionó un estudio del metanol y la corrosión en el acero carbono. Los responsables del estudio, Corpro Companies, encontraron que el metanol no acelera la corrosión.

## SOSTENIMIENTO DE LOS CAMINOS EN LOS BOSQUES<sup>1</sup>

por Gordon Keller

El Servicio Forestal de los EE.UU. tiene a su cargo más de 40.000 kilómetros de caminos a través de los bosques nacionales de los Estados Unidos de Norteamérica. Varían éstos de las importantes carreteras federales pavimentadas a los caminos locales, estrechos y de tierra en terrenos montañosos. Para la conservación de este sistema de vías de tránsito, el Servicio Forestal confía en la innovación, tanto en materiales como en diseño.



Muro con cara de neumáticos en un bosque de California

Neumáticos apilados, alcantarillas usadas, traviesas para ferrocarril o cercas de eslabones--el Servicio Forestal se vale de todo cuando se trata de construir obras de sostenimiento a lo largo de los caminos forestales. Existen muchas estructuras convencionales por todo el sistema de vías de tránsito en los bosques, pero los terrenos empinados, suelos inestables, sitios de acceso difícil, así como los costos y la seguridad pública han obligado a esta Agencia a contemplar otros diseños y materiales fuera de lo ordinario.

La mayor parte de los muros de sostenimiento no convencionales se encuentran en Alaska, California, la región noroeste del Pacífico y los

<sup>1</sup>Reimprimido de Civil Engineering, ASCE, edición de Diciembre de 1990

bosques de las Montañas Rocosas. Pero estos métodos servirían bien en cualquier camino privado, local o de condado. Sin embargo requieren forzosamente investigaciones detalladas del sitio y un análisis geotécnico. Muchos factores influyen sobre la selección de los muros, tales como condiciones del sitio, economía, seguridad, el ambiente, materiales disponibles, experiencia local y la vida nominal del diseño. La Administración Federal de Carreteras ha reunido mucho datos sobre opciones de usos y diseños para estos muros.

Los muros de pilotes H clavados y cubiertos con tablonces son los que mejor sirven en taludes empinados sobre lechos de roca meteorizada o suelos residuales poco profundos sobre roca sana. Para muros de 2,5 a 3,65 metros de alto, amarras ayudan a resistir las presiones terrestres y reducen los efectos de los momentos de encorvadura.

OBRAS ALTERNATIVAS DE SOSTENIMIENTO DE TIERRA			
Tipo de estructura	Altura (metros)	Costo (dólares/m <sup>2</sup> )	Ventajas/desventajas
Rellenos armados	5-15	43-129	Pendiente típica de 1H:1V, declive de 1/2H:1V con medida extra
Muros con cara de neumáticos	3	129-183	Baratos, asentamiento moderado de la cara, aspecto poco estético
Muros con cara de tablonces	5	150-204	El mejor por el precio, durable y atractivo, fácil construcción
Muros de geotextiles	3-6	161-269	Mínimo costo de materiales, buena estructura moderna, cara irregular y no durable
Muros livianos	8	161-215	Muros especiales de geotextiles propios para terrenos inestables asentamiento moderado usando aserrín
Cerca de eslabones	7	215-269	Parcidos a los muros de alambre, fabricados a la orden, acomodan el asentamiento de la cara
Muros de alambre soldado	2-9	215-312	Preferidos por el Servicio Forestal buena construcción de fábrica, diseños convencionales disponibles

De no ser posible clavar los pilotes, los muros con pilotes H anclados sirven en las pendientes empinadas que reposan sobre roca sana. Los pilotes o estacadas se colocan en hoyos de base perforados en varios metros de roca sólida para soportar el fundamento. Agarres y anclajes en el pie y cabeza de los pilotes sujetos a pernos también pueden proporcionar soporte. Puesto que el alineamiento de los pilotes puede controlarse, recuadros de hormigón prevaciado pueden utilizarse en lugar de la envoltura de tablonces.

Se han construido muros grandes con estacadas horizontales ancladas y tubos de alcantarilla usando materiales de construcción sobrantes. Placas o tiras de anclaje terrestre pasivo, enterradas en el relleno, los soportan. Estructuras de gravedad pequeñas, construidas con neumáticos usados apilados, costalles de hormigón apilados, bloques de

hormigón prevaciado, nervaduras de GEOWEB, troncos, y material de alcantarilla pueden sostener las veras de caminos o taludes bajos.

Los muros de estacadas verticales pueden servir para proteger las zonas portuarias, especialmente en Alaska donde ocurren grandes fluctuaciones de marea en algunos lugares. Este tipo de muro es también útil para construir rampas para lanchas y facilidades para cargar troncos. El material de relleno consiste de rocas de 20 cm de drenaje libre, aplicadas neumáticamente. Donde haya corrosión periódica por sumersión y golpeado violento por escombros y troncos, los recuadros o bloques de hormigón pueden servir como miembros frontales.

### Refuerzo con tierra

Por ser que son relativamente poco costosas y de fácil construcción, el Servicio Forestal construye muchas obras de tierra armada. Para muros de menos de 8 metros de altura, los costos típicamente varían de US\$161 a US\$269 por metro cuadrado de cara. En la mayoría de los proyectos, utilizamos materiales de relleno locales o del sitio mismo; elementos de refuerzo flexibles y fácilmente fabricados; sistemas de refuerzo friccional (geotextiles) y sistemas de refuerzo de resistencia pasiva (alambre soldado y geogrid).

Muros de alambre soldado.- Por todo el sistema de caminos forestales, se utilizan estructuras de alambre alcanzando hasta 9 metros de alto para sostener los caminos. Son relativamente fáciles de construir y se adaptan bien a los declives y curvas. Los precios para proyectos de tamaño medio son de competencia, variando de US\$215 a US\$312/m<sup>2</sup> de cara.

Existen muchos diseños disponibles para la construcción de muros de alambre. Varios grupos publican pautas de procedimiento. El Transportation Research Board (Junta de Investigaciones sobre el Transporte), por ejemplo, publica el NCHRP290, Reinforcement of Earth Slopes and Embankments (Refuerzo de taludes de tierra y terraplenes). Los fabricantes también ofrecen distintos diseños de proyectos, los que, con dadas alturas de muros y condiciones de carga, resultan en muros conservadores que cumplen con los requerimientos de estabilidad interna. Sin embargo, el diseño de basamento debe verificarse cuidadosamente para estabilidad externa, puesto que ésta representa la posibilidad la más común de falla de los muros.

Los muros de alambre son frecuentemente contruidos demasiado cortos para el sitio. Posiblemente sea difícil contemplar una obra tridimensional en la etapa de concepción o tener en cuenta los incrementos de 2,43 metros en que se ensamblan los alambres. Consecuentemente, la extremidad del muro quizás no agarre la

pendiente adyacente de tierra. Si las extremidades de cualquier muro son sobreexcavadas, se deben rellenar con un plano inclinado de 1-1/2 horizontal a 1 vertical (1-1/2H:1V). En todo caso, se pueden amontonar desechos en la extremidad del muro y el material de relleno no agarrará bien, resultando en una sección estrecha del camino y el gasto adicional de tener que extender el muro.

Un relleno de materiales finos puede conducir a un asentamiento del paramento debido a mala compactación y migraciones de las partículas finas de suelo a través de la cara de alambre del muro. Es importante satisfacer un criterio de filtración. Una capa de geotextiles pesados y resistentes a los rayos ultravioleta, colocada contra mallas de alambre de 6mm, puede reducir el asentamiento de la cara, pero cascajo pisoneado o materiales gruesos son generalmente preferidos.

El alambre con un recubrimiento galvanizado comercial de 122 gramos por metro cúbico, tiene una vida útil de 50 años en suelos no corrosivos. Conviene especificar un alambre galvanizado en baño caliente de 610 gr/m<sup>2</sup> (o más grueso) puesto que aumenta la vida útil con un pequeño aumento de precio.

Muros de geotextiles.- Los muros reforzados con geotextiles fueron introducidos por el Servicio Forestal en el Noroeste Pacífico. Los fabricantes ahora ofrecen guías de concepción para muros de altura moderada. El espesor del alzado armado varía entre 15 y 46 cm. Los alzados más espesos son difíciles de formar. La longitud de la encajadura del geotextil es usualmente dictada por la longitud necesaria para obtener una estabilidad global y para prevenir fallas por deslizamiento.

El costo de materiales para muros de tierra reforzados con geotextiles son ahora tan bajos como US\$13,45/m<sup>2</sup> de cara. Mientras que los bajos costos de materiales deberían de resultar en costos globales de construcción más bajos, nuestra experiencia demuestra que los muros de geotextiles cuestan solamente un poco menos que la mayoría de otros muros. Debido a la flexibilidad del tejido, encofrados provisionales deben sorportar la cara del muro conforme se va construyendo cada alzado. Es un trabajo lento que requiere mucha mano de obra, y consecuentemente es un procedimiento costoso. Los muros de geotextiles cuestan de US\$161 a US\$269/m<sup>2</sup> de cara.

La mayoría de los encofrados se fabrican con madera de 5 cm x 30 cm y ménsulas L de metal. Una serie de balas de heno colocadas a lo largo de la cara del muro sirve de encofrado semipermanente ensayado por el Servicio Forestal. Una capa de geotextil cubre el suelo al mismo tiempo que se envuelve una capa adicional alrededor del heno para detenerlo en su lugar.

Por ser que los geotextiles necesitan protección contra la luz del sol y la abrasión, aplicamos frecuentemente un capa de gunita a la cara del muro. En las zonas remotas, posiblemente aplicamos solamente una cubierta protectora de emulsión de asfalto unas cuantas veces durante la vida útil del muro. Aunque el paramento acabado suele presentar una superficie irregular, la emulsión de asfalto representa una buena solución para construcciones provisionales.

Una variedad de paños tejidos y no tejidos se prestan para los muros de geotextiles. Un paño tejido "slit-film" (membrana con rajadas) sirve bien porque posee una alta resistencia a la tensión con valores de deformación bajos, a un costo igual o más bajo que el de los geotextiles comparables. Una desventaja de estos tejidos es su tendencia a repeler los recubrimientos de emulsión de asfalto.

Muros de geotextiles ligeros.- El Servicio Forestal ha construido en los bosques del estado de Washington varios muros de este tipo con astillas de madera o aserrín, algunos de 8,5 metros de alto. Envuelto en un geotextil, este material produce una estructura de peso ligero ideal para cruzar una zona de deslizamientos. El diseño y la construcción son algo parecidos a los de un muro de geotextil regular, puesto que las astillas de madera representan un material con alto ángulo de fricción de 25° - 40°.

Los astillas de madera son compactadas en alzados de 46 cm entre las capas de refuerzo. La compactación es difícil de medir, pero varios pases por alzada crean una densidad húmeda de unos 640 kg/m<sup>3</sup>. La graduación del relleno de madera varía de astillas limpias de 8 cm máximo a la consistencia de aserrín. Esta gama produce materiales con resistencias y propiedades de eficacia similares. Se han colocado drenes por detrás de los muros a causa de la baja permeabilidad a largo plazo del material debido al ensanchamiento de la madera.

Una obra, construida en 1984, costó US\$132/m<sup>2</sup> de cara. Después de seis años, el asentamiento del material no ha sobrepasado el 5 por ciento de la altura de la estructura. También pueden servir los neumáticos desmenuzados como material de relleno ligero.

Muros de cercado de eslabones encadenados.- Varios muros de este tipo, construidos con hasta 7 metros de altura, sostienen los caminos en los bosques de Siskiyou y Siuslaw en el estado de Oregon. Se colocan cercados convencionales de eslabones encadenados galvanizados en alzados de 30 a 60 cm en el material de relleno. Las propiedades de resistencia a la extracción y de aguante del material de eslabones encadenados son similares a las del material de alambre soldado.

La construcción de la cara es similar a la construcción de un muro de

geotextiles. Una tela metálica galvanizada de 0,64 cm, colocada en la cara del muro, encierra el material de relleno. La textura de mallas irregulares de los eslabones encadenados resiste bien al asentamiento de la cara. Los precios de estos materiales, aproximadamente US\$72/metro, son de competencia con los de los muros de alambres soldados. Los cercados de eslabones encadenados, empero, deben ser diseñados a la orden.

Muros con cara de tablonés.- Estos muros combinan la facilidad y el bajo costo de los muros de geotextiles o con cara de geotextil con la durabilidad y las cualidades estéticas de la madera. La apariencia rústica cabe bien en un sitio rural. Varios muros tan altos como de 5 metros han sido construidos para los caminos forestales. Los muros en el estado de Colorado son recubiertos con durmientes de ferrocarril y reforzados con un geogrid. Los costos varían entre US\$53 y US\$62/metro, dependiendo del precio de las vigas o durmientes ya tratadas.

Un geotextil o geogrid puede soportar el muro y la cara de tablonés, intercalando las vigas o envolviéndolas. En un método efectivo, se coloca una tabla intermedia entre las vigas principales. La estructura de parillas resultante tolera cierta deformación y reduce el número de vigas necesarias en un 25 por ciento.

Se pueden sujetar las vigas con alcayatas o armaduras. Cada viga debe sujetarse al miembro de refuerzo, o cuando menos cada segunda viga, en un espaciamiento vertical de 15 a 40 cm. Aunque un espaciamiento de refuerzo ancho pueda ser suficiente para la resistencia a la tracción, los espaciamientos más estrechos para las conexiones de cara, dictando el espesor del alzado, son los que muchas veces controlan el diseño.

Muros recubiertos con neumáticos.- Aunque no tan atractivos como los muros recubiertos de vigas, los muros revestidos con neumáticos tienen, desde cierta distancia, un aspecto textural interesante. Se prestan bien para las reparaciones de caminos rurales de poco uso, puesto que no son muy visibles para los que transitan estas rutas.

En el bosque nacional de Plumas en California, se utilizan neumáticos y geotextiles tejidos "slit-film" como refuerzo de la cara de un muro armado de 3 metros de alto. Los neumáticos usados abundan y los geotextiles son relativamente baratos. Los muros con cara de neumáticos cuestan un poco menos de US\$140/m<sup>2</sup> de cara, incluso la instalación de un dren. En el bosque de Plumas, el costo definitivo fue de US\$183/m<sup>2</sup> debido a la lentitud del trabajo de relleno por golpes.

Capas de geotextiles con un espaciamiento vertical de 38 cm y dos filas alternadas de neumáticos se sitúan en el borde frontal del

tejido (y de la cara del muro) entre cada capa del tejido. Alzados de tierra compactada de 18 a 20 cm se colocan detrás de cada una de las 16 capas de neumáticos. Se compacta a mano la tierra de relleno en el hueco de cada neumático.

Los muros con cara de neumáticos necesitan un declive de 1H:4V. Alternando los neumáticos horizontalmente impide que el suelo de relleno caiga a través del hoyo y del espacio entre los neumáticos. Un espacio adicional entre los neumáticos podría proveer un lugar para sembrar plantas.

Usando equipos ligeros, se realizó la compactación del relleno en la cara del muro del bosque de Plumitas, provocando muy poco movimiento de los neumáticos. Una tira de tejido ensartada a través del hoyo del neumático y enterrada en el relleno resistiría a los movimientos de equipos más pesados.

Movimientos laterales de los neumáticos no asegurados y el asentamiento a largo plazo de la cara de neumáticos son problemas potenciales. Sin embargo, después de dos años de observar el asentamiento del muro, se ha notado muy poca deformación. El asentamiento de la cara para las filas superiores de neumáticos es de menos de 30 cm, o sea 10 por ciento de la altura del muro. No se han producido deformaciones en la superficie del camino.

### Rellenos armados

Los rellenos armados con un declive de 1H:1V o más de la cara presentan una alternativa poco costosa a las estructuras de sostenimiento. Esto vale cuando el terreno está demasiado empinado para sostener un talud de relleno convencional, pero suficientemente plano para sostener un relleno armado muy empinado o un declive de tierra variando de 67 a 150 por ciento. La altura de los rellenos reforzados son de 5 a 15 metros en los proyectos forestales.

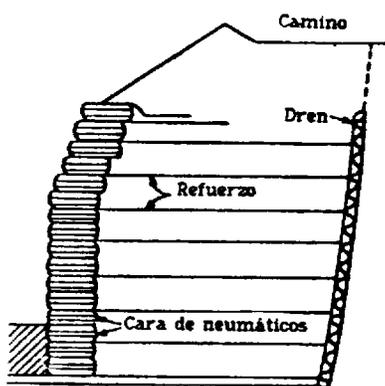


Figura 1.- Muro con cara revestida de neumáticos

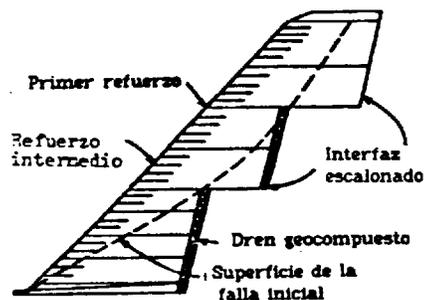


Figura 2.- Relleno reforzado.

Las capas de miembros de refuerzo (geogrid o tejidos) proporcionan resistencia a la tensión para prevenir fallas por esfuerzo cortante. Los espaciamientos del refuerzo primario proveen la resistencia a la tensión para soportar una pendiente de relleno muy empinada y prevenir un desliz del talud en profundidad. El espaciamiento varía entre 0,6 y 1,5 metros y depende de los parámetros del suelo, la altura del relleno y la resistencia del geogrid. Refuerzos intermedios consisten en tiras estrechas (1,5 metro de ancho) de geogrid de baja resistencia colocadas a lo largo del relleno de la cara con un espaciamiento vertical de 30 cm. Esto previene posibles deslizamientos de poca profundidad entre las capas del refuerzo primario, particularmente durante la construcción.

Un relleno armado cuesta más que un relleno convencional, pero menos que una estructura de sostenimiento. Se ahorran costos cuando no es necesario utilizar encofrado o miembros para la cara.

La instalación del geogrid es fácil, pero se debe tener cuidado de orientarlo correctamente. Los costos de la construcción acabada pueden ser más elevados de lo esperado hasta no ser que los contratistas comprendan el concepto de este diseño. Los precios de apuestas en 1987-89 promediaban de US\$13 a US\$20/m<sup>3</sup> para la compactación del material, más US\$5 a US\$10/m<sup>2</sup> para el geogrid reforzante instalado. Esto incluía los miembros reforzadores primarios e intermedios. Estos mismos costos, expresado por metro cuadrado de cara de relleno vertical, varían entre US\$38 y US\$129.

Los costos son menos en los sitios más despejados donde el equipo puede funcionar fácilmente.

Con el refuerzo, la cara completada del relleno puede variar entre 1-1/4H:1V y 1/2H:1V, dependiendo del suelo y de las medidas adicionales que se hayan tomado. El más empinado declive de cara posible con un material de relleno granular de baja plasticidad, típico de los terrenos montañosos, es de 1H:1V. Se dificulta una buena compactación por ser que el borde exterior de la cara del relleno no tiene soporte. Sin densidad adecuada, los suelos en una pendiente muy empinada no se detienen. Fallaron los intentos para construir una cara de relleno de 1/2H:1V, aun con un suelo moderadamente arcilloso y un declive de 1H:1V.

Un material con un contenido significativo de arcilla permite la construcción de una pendiente un poco más empinada. En un material granular y no plástico, tal como un suelo granítico descompuesto, una cara de 1-1/4H:1V es la pendiente la más estable. Una pendiente más empinada se deshace o necesita soporte adicional. El envolver el material con refuerzos o mallas alrededor de la cara puede soportar un declive de cara más empinado. En el bosque

nacional de Siskiyou en Oregon, se han utilizado rocas de cantera de 20 cm para recubrir los rellenos, lográndose un talud estable de 1H:1V.

La estabilización por medio de vegetación ayuda a obtener un declive de cara de 1/2H:1V en rellenos bajos. En el Bosque Nacional de San Juan en el estado de Colorado, se instaló una mezcla de paja, suelo muy arcilloso, abono y semillas en alzados de 30 cm a lo largo de la cara exterior del relleno entre las capas del geogrid reforzador. La paja provee resistencia a la tracción para soportar la pendiente de 1/2H:1V, así como protección contra la erosión. Al germinar las semillas, las raíces de las plantas también proporcionan soporte. Este método, empero, requiere mucha mano de obra y cuesta US\$102/m<sup>2</sup>.

Los trabajadores en el bosque de San Juan también formaron una cara de talud de 3/4H:1V con la aplicación neumática de cordones desplegados de fibra de vidrio en la cara del relleno exterior en el momento de vaciarse el material de relleno. Este método parece ser prometedor y poco costoso. Solamente el 0,1 por ciento por peso de fibra de vidrio reforzadora se agrega a los US\$38/m<sup>2</sup> de cara. Esta cantidad incluye el costo del refuerzo de geogrid colocado dentro del relleno.

Debido a las condiciones bajo las cuales el Servicio Forestal trabaja, buscamos constantemente diseños seguros, prácticos, económicos y compatibles con el ambiente para satisfacer los requisitos de nuestra administración de tierras y del sistema de tránsito. Los diseños no convencionales e innovativos proveen la solución.

## EL EQUIPO GEOSINTETICO DE LA OFICINA DE DENVER DEL BUREAU

por Bob Dewey<sup>1</sup>

Si Ud. concuerda en que la ingeniería es una profesión en la cual uno emplea materiales naturales para ayudar a configurar nuestro mundo, entonces la ingeniería geotécnica es una ingeniería en su forma la más pura. ¿Qué podría ser más natural que la tierra? Es cierto que los ingenieros geotécnicos suelen alterar el estado de los materiales de tierra, clasificándolos o compactándolos para la construcción de obras, pero hasta recientemente, las estructuras geotécnicas estaban compuestas casi enteramente de materiales naturales. Sin embargo, con los nuevos materiales sintéticos es posible y económico realizar construcciones geotécnicas con materiales dotados de propiedades que sobrepasan las que se pueden obtener naturalmente de los suelos o de sólo suelos alterados. Para poder incluir los nuevos productos fabricados por el hombre en sus estructuras y al mismo tiempo mantener una imagen de pureza técnica, los ingenieros geotécnicos han nombrado estos materiales sintéticos "geosintéticos". Los geosintéticos tienen seis funciones principales: separación de suelos, filtración, refuerzo, drenaje, control de la erosión y barreras contra el agua. Los tipos de geosintéticos actualmente disponibles para realizar estas funciones son varios y muchos. Los geosintéticos pueden agruparse en cuatro categorías distintas llamadas (quizá por razones puristas): geotextiles, geomembranas, geogrids y geocompuestos. Cada una de las categorías describe una familia única de productos que realizan una o más de las funciones ya mencionadas.

Los geosintéticos no son nuevos para el Bureau of Reclamation. Por ejemplo, el Bureau ha utilizado geomembranas para revestir canales por más de 30 años. Ahora ha surgido un gran interés en los geosintéticos dentro de varios segmentos organizacionales del Bureau. Para poder coordinar este interés, se ha formado un equipo geosintético en la Oficina de Denver. El grupo afirma su misión de la siguiente manera:

"El propósito del Grupo Geosintético de la Oficina de Denver es el de alentar la comprensión y uso apropiado de los geosintéticos en los proyectos del Bureau. Esto se realizará por medio de los esfuerzos de miembros del grupo quienes diseminarán información, proveerán oportunidades para formación técnica, apoyarán investigaciones, proveerán apoyo de Proyectos/Diseños y desarrollarán normas de concepción y materiales."

---

<sup>1</sup>Ingeniero civil empleado de la Oficina de Denver del Bureau of Reclamation, Geotechnical Engineering and Geology Division, Denver, Colorado

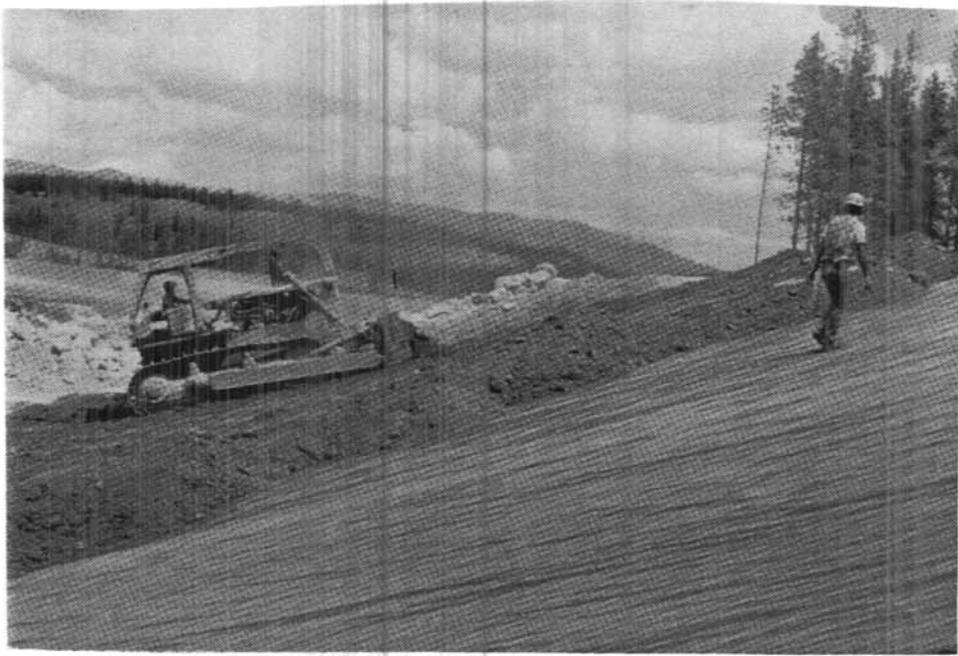
Los miembros del grupo fueron escogidos en base de su interés personal y de la posibilidad por parte de sus organizaciones de utilizar geosintéticos. Los miembros actuales del grupo de la Oficina de Denver y sus códigos postales son:

Alice Comer	D-3120	Bob Dewey	D-3620
Elmer Haight	D-3510	Jack Haynes	D-5222
Bill Kepler	D-3731	Dave King	D-5210
Bill Morrison	D-3732	Rich Straubinger	D-3120
Jay Swihart	D-3732	Richard Young	D-3735

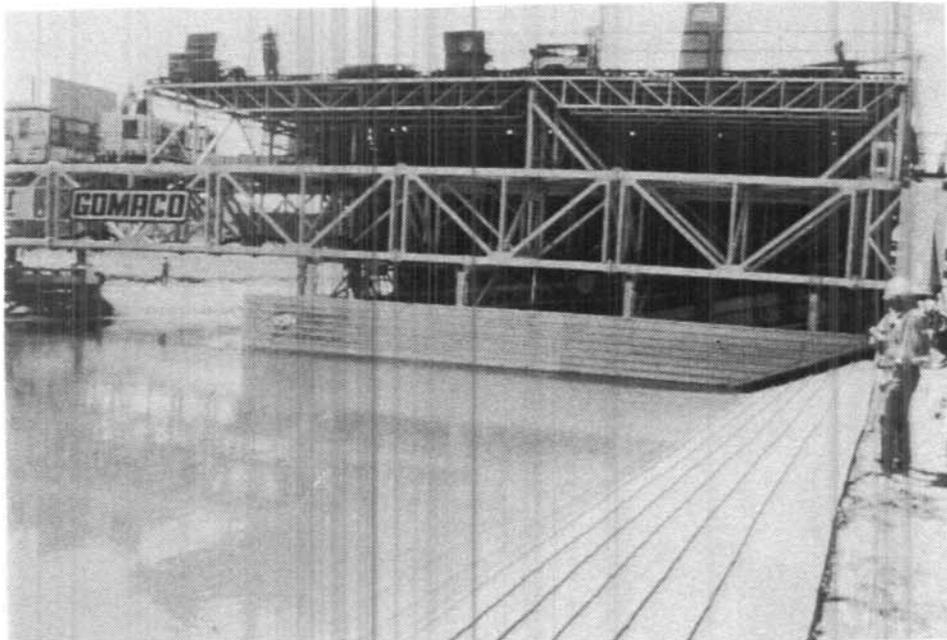
La afiliación al grupo no es exclusiva y cualquier persona interesada en estas actividades puede participar. El grupo se reúne aproximadamente una vez cada dos meses, con participación libre de público (llame a Jay Swihart, teléfono 303-236-6195 para obtener detalles con respecto a futuras reuniones o a las actas de previas reuniones).

Bill Morrison es el actual dirigente del grupo. Por los esfuerzos de este señor, el Bureau ha llegado a ser miembro del Geosynthetic Research Institute - GRI (Instituto de investigaciones sobre geosintéticos) de la Universidad Drexel en Philadelphia, Pennsylvania, lo que le brinda al Bureau la oportunidad de influenciar y participar en una gran variedad de investigaciones fructuosas. Las publicaciones del GRI, así como una formación técnica, son también disponibles para todos los empleados del Bureau a través del grupo.

En el curso de los últimos 10 años, muchos proyectos del Bureau han sido concebidos y construidos con una gran variedad de geosintéticos. Algunos ejemplos ilustrados en las fotografías a continuación incluyen un revestimiento de geomembrana en la instalación de Mt. Elbert Forebay, un revestimiento subacuático en el canal de Coachella, y la instalación de un geogrid en la presa de Davis Creek. El Bureau no vacila en considerar el uso de los materiales geosintéticos en sus obras hidráulicas. Aunque todavía no se atreve a recomendar un material geosintético como el único sustituto para un mayor componente de una presa grande sin la aseguranza de un comportamiento adecuado, el Bureau se interesa en el uso de geosintéticos en combinación con diseños convencionales y múltiples líneas de defensa para aumentar la seguridad, promover la conservación de agua o realizar ahorros de costos. El Grupo Geosintético de la Oficina de Denver existe para facilitar un uso apropiado de estos nuevos materiales. Conforme se vaya ganando más experiencia y llegarán a ser más disponibles mayores datos de eficacia en el campo tocante a estos productos, se anticipa que el Bureau utilizará los geosintéticos con hasta mayor frecuencia.



Revestimiento de geomembrana en Mt. Elbert Forebay.



Revestimiento subacuático en el canal de Coachella.



Colocación de un geogrid en la presa de Davis Creek.

## ENFOQUE EN LA PRESA DE RYE PATCH Y SU EMBALSE

### Proyecto Humboldt, Nevada

La presa de Rye Patch es una obra de tierra con una altura estructural de 24 metros y una longitud de coronación de 327 metros. Las instalaciones de salida descargan 28 m<sup>3</sup>/seg y el vertedero descarga 566 m<sup>3</sup>/seg. Empezada a principios de 1935, se completó la construcción de la presa y se comenzó el almacenamiento de agua en 1936. El embalse mide 34 kilómetros de largo, con una capacidad de almacenamiento de 263.000.000 metros cúbicos.

Para principios de 1939, se concluyeron los trámites para la adquisición del terreno y del derecho de agua, y se acabó la construcción de obras más pequeñas por equipos de trabajadores del gobierno federal en la vecindad de Battle Mountain, colectivamente llamadas Battle Mountain Water Collection and Development System (sistema de recogimiento y desarrollo hidráulico de Battle Mountain). Un programa de restauración y mejoramiento, consistiendo de una presa reguladora y mejoras a los diques existentes y al cauce del río, empezaron en diciembre de 1955, en la zona de Battle Mountain.

En 1976, un proyecto de reacondicionamiento y mejoramiento elevó la altura de la presa en 91 cm y el nivel de la superficie del agua en 60 cm. Esto incrementó la capacidad de almacenamiento del embalse en unos 28.000.000 metros cúbicos para alcanzar una capacidad total de embalsamiento de 263.000.000 metros cúbicos.

Las cosechas principales son: heno y semilla de alfalfa, trigo y cebada. Estos productos agrícolas se utilizan en gran parte para alimentar los numerosos rebaños de ganado y ovejas traídos desde la alta cuenca Humboldt y del valle central de California. El ganado se engorda antes de expedirlo, principalmente a mercados de la costa oeste del país.

El Embalse de Rye Patch dispone de las facilidades usuales para deportes náuticos, bajo la administración de la División de Parques del estado de Nevada. La pesca de truchas y especies de aguas tibias queda bajo el control de la comisión de Pesca y Caza del estado.

U.S. Government Printing Office: 1991-834-444

## **La Misión del Bureau of Reclamation**

**El Bureau of Reclamation, dependencia del Departamento del Interior de los Estados Unidos, es responsable del desarrollo y conservación de los recursos hidráulicos del país en el Oeste de los Estados Unidos.**

**El propósito original del Bureau, o sea "disponer el desarrollo de las tierras áridas y semi-áridas del Oeste", hoy en día cubre una amplia gama de funciones interrelacionadas. Estas incluyen suministrar fuentes de aguas municipales e industriales; generación de energía hidroeléctrica; agua de riego para el uso agrícola; mejoramiento de la calidad del agua; control de avenidas; navegación fluvial, regulación y control de ríos; enriquecimiento de la fauna y peces; actividades deportivas al aire libre; y la investigación en diseños hidráulicos, construcción, materiales, control de la atmósfera y energía eólica y solar.**

**Los programas del Bureau son frecuentemente el resultado de una estrecha cooperación con el Congreso de los Estados Unidos, otras agencias federales, los gobiernos estatales y locales, instituciones académicas, organizaciones de usuarios de agua y otros grupos interesados.**

**El propósito de este Boletín es el de servir como un medio de intercambio de información sobre la explotación y el mantenimiento. Su éxito depende de la participación de los lectores en obtener y someter ideas nuevas y provechosas de E&M**

**Ponga de relieve la ingeniosidad de su Distrito o Proyecto con la publicación de un artículo en el boletín. Comuníquese con nosotros pronto!**